단원 종합 문제

1 화력 발전은 어떤 에너지를 전기 에너지로 변환시킨 것인가?

① 물 ② 원자력 ③ 열 ④ 바람 ⑤ 자기력

2 화력 발전의 종류가 아닌 것은?

① 기력 발전 ② 유역 변경식 발전 ③ 내연력 발전
④ 가스 터빈 발전 ⑤ 복합 화력 발전

3 기력 발전소의 구성 요소가 아닌 것은?

① 감속재 ② 증기 계통 ③ 복수기 ④ 재처리 계통 ⑤ 연소 계통

4 어떤 물질이 가지고 있는 전 열량을 무엇이라 하는가?

① 위치 에너지 ② 엔트로피 ③ 엔탈피
④ 액체열 ⑤ 압력 에너지

5 열 사이클의 종류가 아닌 것은?

① 랭킨 사이클 ② 재생 사이클 ③ 재열 사이클
④ 재생 재열 사이클 ⑤ 4사이클

6 보일러의 구성 설비가 아닌 것은?

① 과열기 ② 취수구 ③ 절탄기 ④ 공기 예열기 ⑤ 보일러 본체

7 부하가 변화해도 터빈의 회전 속도와 그 압력을 조절하는 기기는?

① 터빈 ② 노즐 ③ 과열기 ④ 조속기 ⑤ 절탄기

8 기력 발전소의 효율은?

① 위치 효율+압력 효율 ② 보일러 효율+엔탈피 ③ 수차 효율+발전기 효율
④ 보일러 효율+터빈 효율 ⑤ 엔탈피+엔트로피

9 내연력 발전의 종류와 원리에 대하여 설명해 보자.

정답 | 1 ③ 2 ② 3 ① 4 ③ 5 ⑤ 6 ② 7 ④ 8 ④ 9 생략

• 교육과학기술부(2009). 『고등학교 전력 설비 Ⅰ』. (주)두산동아.
• 교육부(1999). 『고등학교 전력』. (주)대한교과서.

3 원자력 발전

학습 목표 |

1. 원자력의 원리에 대하여 설명할 수 있다.
2. 원자력 발전소의 구성과 종류에 대하여 설명할 수 있다.
3. 원자력 발전의 방호에 대하여 설명할 수 있다.
4. 원자력 기술 개발에 대하여 설명할 수 있다.

원자력 발전은 우라늄-235의 핵분열 반응에 의해 열을 얻고, 그 열로 증기를 생산하여 터빈을 돌려 전기를 얻는 발전 방식이다. 원자력 발전은 화력 발전과 증기 발생 과정만 다를 뿐, 증기를 이용하여 발전하는 과정은 같다. 그림 Ⅰ-24는 원자력 발전의 예를 보인 것이다.

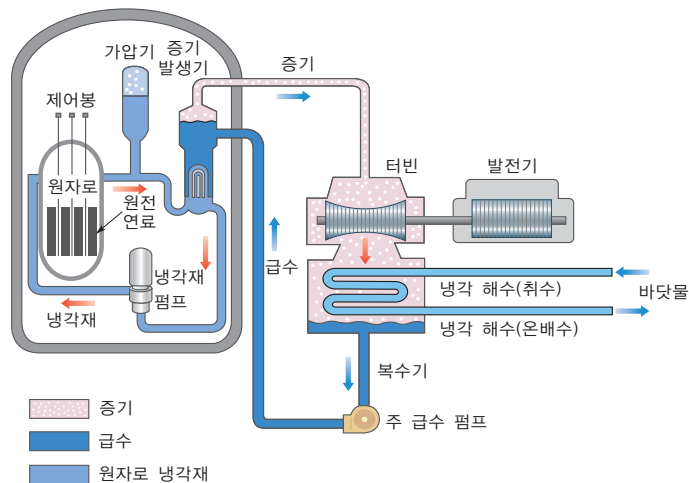



그림 Ⅰ-24 원자력 발전의 개요

1 원자력의 원리

1. 원자의 구성

원자의 구조는 그림 Ⅰ-25와 같이 원자핵과 전자로 이루어져 있으며 원자핵 안에는 양전하를 띤 양자와 전하가 없는 중성자가 들어 있다. 원자의 무게는 대부분이 원자핵의 무게이며, 양자의 무게와 중성자의 무게는 서로 비슷하다. 이것들은 전자에 비해

약 1840배나 무겁다. 그리고 원자에서 양자와 전자의 수는 같다.

원자핵에 양자나 중성자와 같은 알맹이가 많이 들어 있으면, 이들 간의 배척력으로 깨어질 가능성이 많아진다. 원자핵이 스스로 깨어지면서 다른 원자핵으로 변할 때에는 대개 방사선이 나오는데, 우리는 자연 상태의 라듐에서 이런 현상을 볼 수 있다.

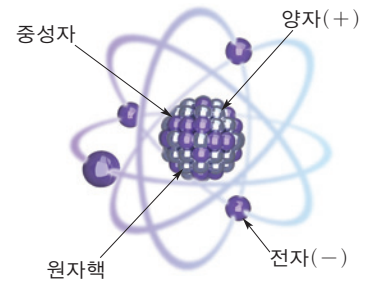



그림 Ⅰ-25 원자의 구조

그러나 핵분열 반응은 하나의 원자핵에 중성자가 충돌함으로써 새로운 2개의 원자핵으로 쪼개지는 반응을 말하며, 이때 발생되는 에너지를 원자력이라 한다.

원자력 발전은 경제적인 에너지원으로, 100만 〔kW〕급 발전소를 1년 동안 운전하려면 석유 150만 톤이 필요하지만, 우라늄은 20톤이면 가능하다. 또 우라늄을 한 번 장전하면 12～18개월 동안 연료 교체가 필요없기 때문에 그만큼 연료 비축 효과가 있다. 그리고 발전 과정에서 이산화탄소가 전혀 나오지 않기 때문에 동일 비용 대비 온실가스 감축에 가장 유리한 환경 친화적인 에너지원이기도 하다.

2. 핵분열과 에너지

2개의 서로 다른 원자핵 또는 핵자가 충돌하여 2개 이상의 새로운 핵입자 또는 감마(γ)선이 생겨 나오는 반응을 핵반응이라 한다. 일반적으로 핵반응은 표적 핵에 알파(α)선, 베타(β)선, 양자, 중성자 등의 입자를 충돌시켜서 일어나게 된다. 그 결과 새로운 핵이 생김과 동시에 γ선이나 가벼운 입자가 따라 나오는데, 이와 같은 반응 현상을

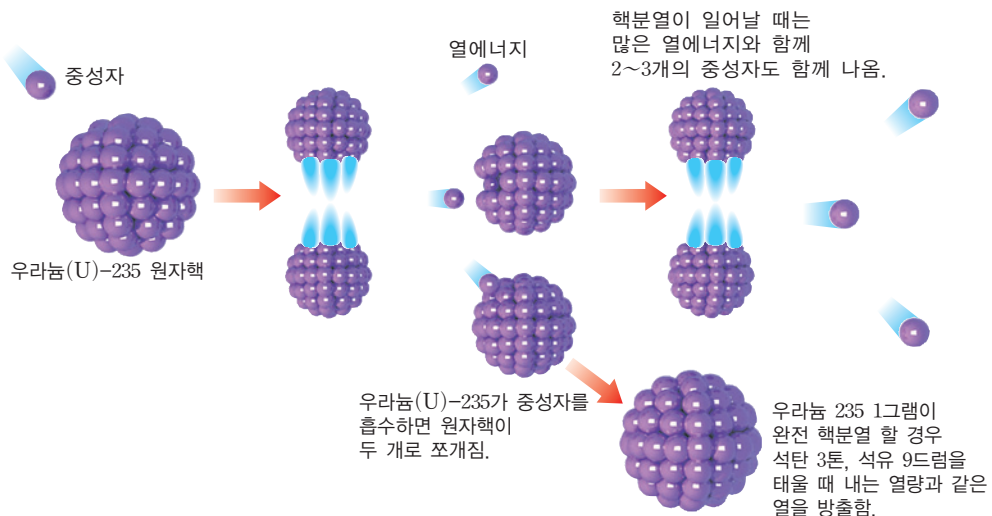



그림 Ⅰ-26 핵분열 과정

핵분열이라 한다. 그림 I-26은 핵분열 과정을 보인 것이다. 핵분열에 의해 생성된 원소를 핵분열 생성물이라 한다.

핵분열 물질로 사용되는 원소는 우라늄(U)이고, 이를 크게 나누면 U−238과 U−235로 나뉜다. 이 중에서 핵분열이 가능한 원소는 U−235이다.

U−235가 잘 분열되기 위해서는 입사되는 중성자의 에너지, 즉 중성자의 속도를 낮추어야 한다. 중성자의 속도를 낮추기 위해서는 중성자가 자기의 무게와 비슷한 물질, 즉 감속재와 부딪쳐야 한다.

원자력 발전소는 감속재로 사용하는 물의 종류에 따라 경수를 사용하는 경수형 원자력 발전소(경수로)와 중수를 사용하는 중수형 원자력 발전소(중수로)로 구분한다.

3. 핵분열 연쇄 반응

핵분열에 따라 새로이 생성된 중성자 2～3개에 의해 2차 핵분열이 일어나고, 또 2차 핵분열로 생긴 중성자에 의해 3차 핵분열이 일어난다. 즉, 새로이 생성된 중성자를 다음의 핵분열에 바로 이용함으로써 외부로부터 중성자 보급 없이도 계속하여 핵분열을 일으킬 수 있게 된다. 이 과정을 핵분열 연쇄 반응이라 한다.

연쇄 반응이 극히 짧은 시간에 일어나면 많은 열과 방사선을 방출하는 폭발이 일어나지만, 이 연쇄 반응의 속도를 임의로 적절히 조절하면 일정한 출력을 얻을 수 있다. 이를 위해 만든 장치가 원자로(reactor)이다.

2 원자력 발전소

1. 원자로의 구성과 종류

(1) 원자로의 구성

원자력 발전소의 원자로는 화력 발전의 보일러 역할을 한다. 이미 장전되어 있는 핵분열 물질(U−235)에 중성자를 충돌시켜 연쇄적으로 핵분열 반응이 일어나도록 하여 열에너지를 발생시키고 있다.

이러한 반응을 인위적으로 제어할 수 있는 다음과 같은 구성 요소가 있다. 그림 I-27은 일반적인 원자로의 구성을 보인 것이다.

1) 원전 연료 : 천연 우라늄(0.7〔%〕)을 그대로 사용하거나, U−235를 약 3〔%〕 정도로 농축한 다음 이산화우라늄(UO_2)으로 성형, 가공하여 펠릿(pellet)을 만든다.

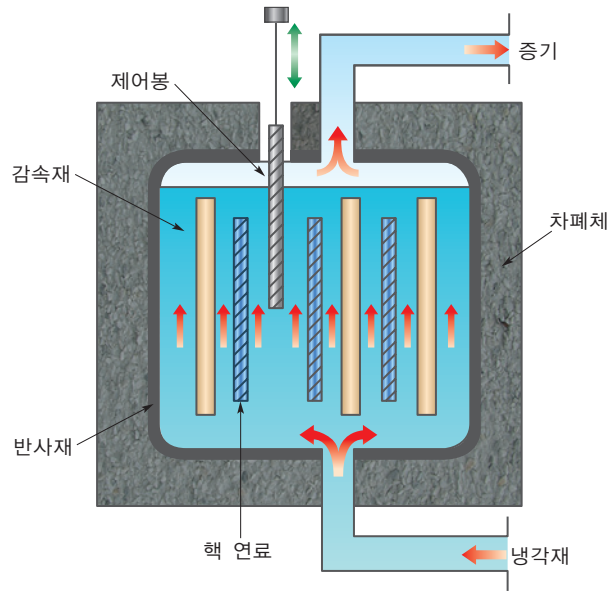



그림 Ⅰ-27 일반적인 원자로의 구성

2) **감속재** : 중성자가 U－235와 만나서 핵분열을 잘 일으킬 수 있도록 중성자의 속도를 낮춰 주는 역할을 담당한다. 감속재로는 경수, 흑연, 중수, 베릴륨 등이 사용된다.

3) **냉각재** : 원전 연료봉 주위를 흐르면서 원전 연료에서 생성된 뜨거운 열을 흡수하고, 이것을 열 교환기나 증기 발생기로 전달한다. 경수로형 원자력 발전소에서는 감속재와 냉각재를 구분해 쓰지 않고 똑같이 물(경수)을 쓴다. 그러나 중수로형 원자력 발전소에서는 따로 구분해 쓴다.

4) **제어 장치** : 원자로의 출력을 일정하게 유지하거나 원하는 대로 변동시키려면 원자로 내에서 발생하는 핵분열 매체인 중성자 수를 조절하여 핵분열 반응의 횟수를 제어해야 한다.

이 조정 역할을 하는 물질이 제어 물질이다. 이것은 원전 연료보다 중성자를 훨씬 더 잘 흡수하나 핵분열은 일으키지 않는다. 그러므로 제어 물질의 양을 증가시키면 중성자 수가 줄어서 원자로 출력이 감소하고, 그 양을 감소시키면 출력이 증가한다.

원자로 노심 안에 원전 연료가 장전되어 있을 경우에는 냉각재와 제어 장치가 노심에 반드시 있어야 하는 것이 필수 조건이다.

㉮ 제어봉 : 제어봉은 중성자를 잘 흡수하는 물질로 만들어져 있다. 원자로 내에 장전된 원전 연료 집합체 내의 연료봉들 사이를 드나들면서 중성자의 수를 조절하여 핵분열 연쇄 반응을 제어한다. 제어봉으로는 붕소(B), 카드뮴(Cd), 인듐

(In), 은(Ag), 가돌리늄(Gd) 등이 사용된다.

㉯ **수용성 제어 물질** : 중성자를 잘 흡수하는 수용성 제어 물질로는 붕소(B), 가돌리늄(Gd) 등이 있다. 이 물질을 감속재에 섞어 넣어 그 농도를 조절하여 핵분열 연쇄 반응을 제어한다.

㉰ **차폐체** : 핵분열의 결과로 발생되는 중성자 중에서 특히 고속 중성자나 높은 에너지의 감마선 등이 원자로에서 새어 나와 인체에 해를 주거나 구조물에 강한 열적 충격을 준다. 이를 막기 위해 콘크리트, 납 또는 물 등으로 된 방사선 차폐체를 설치한다.

(2) 원전 연료의 구성

원자로에서 사용되는 연료는 우라늄(U)이며, 이산화우라늄(UO_2) 형태로 만들어 사용하고 있다. 그것은 이산화우라늄이 열 전달이 좋지 않다는 단점은 있어도 열에 강하고 금속학적으로 아주 안정되어 있기 때문이다. 그림 Ⅰ-28은 가압 경수형 원자력 발전소의 연료 집합체를 보인 것이다.

우라늄 가루(분말)를 구어서 만든 약 1〔cm〕 길이의 분필 같은 모양의 원전 연료를 펠릿(pellet)이라고 하며, 이것을 약 4〔m〕 길이의 지르코늄 합금의 튜브 안에 일렬로 집어넣어 봉 모양으로 만든다.

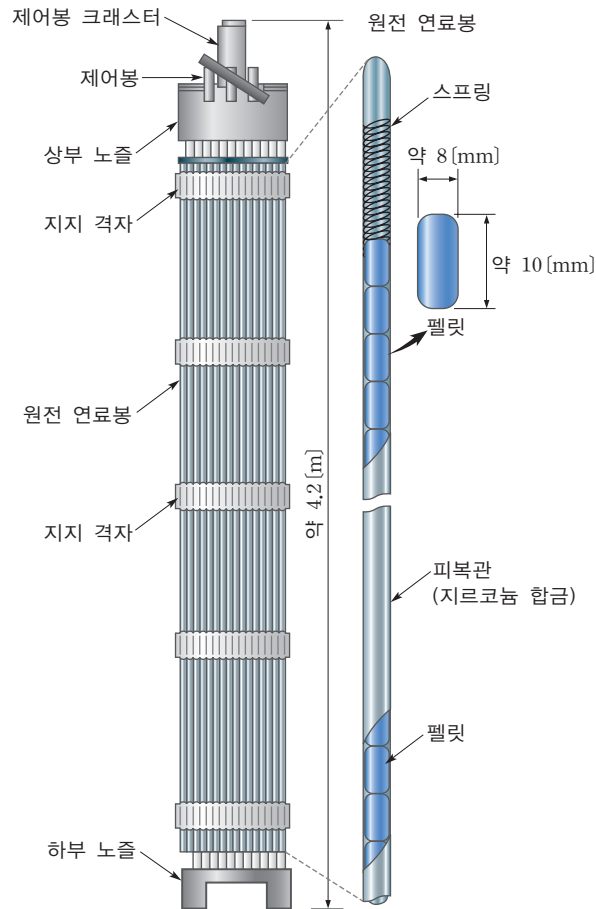



그림 Ⅰ-28 가압 경수형 원자력 발전소의 연료 집합체

이 튜브는 원전 연료에서 발생한 방사성 기체가 밖으로 빠져나오지 못하도록 밀폐재 역할을 담당하고 있기 때문에 피복재로 부르기도 한다.

지르코늄 피복재는 아주 단단하고, 중성자를 적게 흡수하며, 열전도도가 크고, 금속

적 · 화학적으로 안정되어 있으며, 고온에서도 잘 견딘다.

노 내에서 핵분열이 일어나면 원전 연료 안에서 생긴 열은 피복재를 거쳐 원자로 안을 순환하는 냉각재에 전달된다.

이 높은 압력의 뜨거운 냉각재가 증기 발생기로 들어가 그 속의 물을 데워 수증기를 만든다. 이 수증기가 터빈을 돌리고 터빈에 연결된 발전기에서 전기를 생산한다.

2. 원자력 발전소의 주요 기기

⑴ 1차 계통

1) **원자로** : 원전 연료가 핵분열에 의해 약 1000〔℃〕의 열을 발생하며, 냉각재의 온도를 약 300〔℃〕로 높여 주는 역할을 한다.

2) **가압기** : 냉각재인 물이 100〔℃〕 이상에서도 끓지 않도록 냉각재를 160〔kg/cm^2〕(경수로) 또는 110〔kg/cm^2〕(중수로)로 압력을 가해 주는 기기이다.

3) **증기 발생기** : 뜨거워진 1차 계통의 냉각재로부터 2차 계통의 급수에 열을 전달시켜 급수를 증기로 변환시켜 주는 역할을 하며, 화력 발전소의 보일러 역할을 한다.

4) **원자로 냉각재 펌프** : 원자로로부터 증기 발생기를 거쳐 나온 1차 계통의 냉각재를 원자로 속으로 다시 순환시키는 기기이다.

⑵ 2차 계통

원자력 발전의 2차 계통은 화력 발전과 같은 터빈, 발전기, 복수기, 급수 펌프 등으로 구성되어 있다.

⑶ 발전의 기본 원리

1차 순환수는 원전 연료를 식힌다는 의미에서 냉각재라 부른다. 그 유체 통로, 즉 원자로 냉각재 계통은 완전히 폐쇄된 회로로서 원자로 냉각재 펌프에 의해서 강제 순환되고 있다.

냉각재인 물은 원자로 용기를 통과하면서 원전 연료인 U－235의 핵분열로 발생한 열에 의해 가열된다. 증기 발생기의 U자형 튜브의 내부를 통과하면서 튜브 외부의 2차측 물이 증기가 되도록 열을 전달한다.

이때 열교환으로 온도가 낮아진 냉각재는 원자로 냉각재 펌프에 의해 다시 원자로 내로 되돌려 보내어진다.

이런 과정을 거쳐 증기 발생기에서 발생된 증기는 터빈 축으로 흘러나와 터빈을 회전시킨다. 터빈은 같은 축에 연결되어 있는 발전기를 돌려 전기 에너지를 발생시키게 된다.

터빈을 회전시켜 에너지 보유량이 낮아진 증기는 복수기를 통과하는 찬 바닷물에 열을 빼앗김으로써 물로 응축된다. 이 물은 급수 펌프에 의해 증기 발생기로 되돌려지게 된다.

3. 원자력 발전소의 종류

(1) 가압 경수형 원자력 발전소

가압 경수형 원자로(pressurized water reactor)는 저농축 우라늄을 연료로 사용하며 경수를 감속재와 냉각재로 사용하는 원자로이다. 원자로의 압력 용기 안에서는 압력이 매우 높아(약 160기압) 물의 비등을 억제하고 있다. 이와 같이 높은 압력을 가함으로써 물의 포화 온도를 높이고, 증기 조건을 좋게 함으로써 발전소 전체의 효율을 높이게 된다.

그림 Ⅰ-29와 같이 원자로 안으로 물이 드나드는 곳을 1차 순환계통, 증기 발생기와 터빈 사이를 2차 순환계통이라 하는데, 1차와 2차 순환 계통에서 수질 관리는 아주 중요하다.

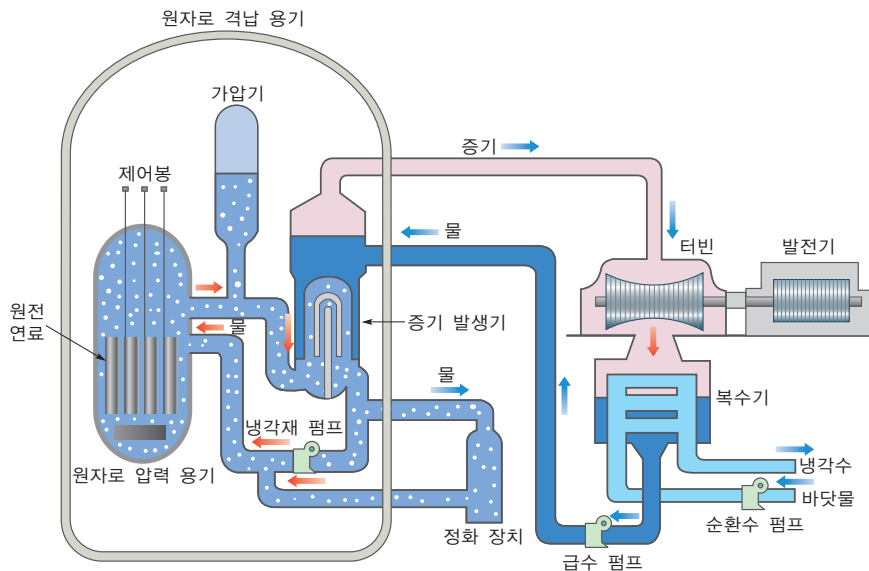



그림 Ⅰ-29 가압 경수형 원자력 발전

(2) 가압 중수형 원자력 발전소

가압 중수형 원자로(pressurized heavy rector)는 천연 우라늄(0.7〔%〕)을 원전 연료로 사용한다. 감속재와 냉각재로 중수(D_2O)를 사용한다는 점을 특징으로 들 수 있다.

단점은 경수형에 비해 건설비가 비싸다는 점과 중수를 감속재와 냉각재로 각각 구분하여 사용한다는 점이다. 이를 극복하기 위해 천연 우라늄 대신 1.2〔%〕 정도의 저농축 우라늄을 사용하는 연구 개발이 이루어지고 있다. 이는 비교적 높은 압력을 유지하여 중수가 끓지 못하도록 하는 노형이다.

그러나 저농축 우라늄보다 값싼 천연 우라늄을 원전 연료로 사용하며, 또 운전 중에도 원전 연료를 교체할 수 있으므로 발전소 이용률이 높아지는 장점도 있다. 그림 Ⅰ-30은 가압 중수형 원자력 발전소의 구성을 보인 것이다.

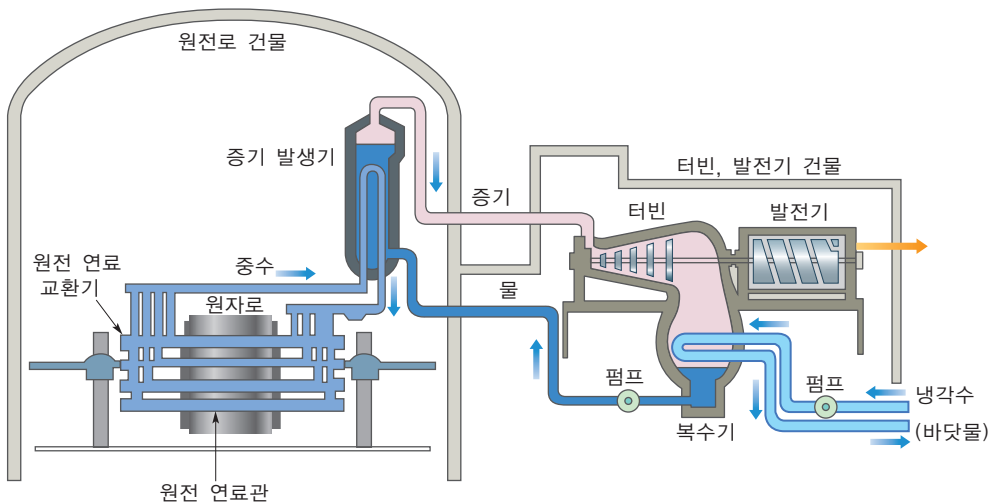



그림 Ⅰ-30 가압 중수형 원자력 발전

(3) 비등수형 원자력 발전소

비등수형 원자로(boiling water reactor)는 경수로와 비슷하다. 원전 연료는 약 3〔%〕 저농축 우라늄을 사용하며, 감속재와 냉각재로는 경수(H_2O)가 사용된다.

특징은 원자로 내에서 바로 증기가 발생되므로 가압기와 증기 발생기가 별도로 필요 없다는 것이다. 1차 계통과 2차 계통이 분리되지 않는다. 계통 온도와 압력이 낮으므로 안전성이 높은 장점이 있는 반면에 사고시 방사능 확산 가능성이 크므로 원자로 차폐와 안전 설비를 많이 설치해야 하는 단점이 있다. 그림 Ⅰ-31은 비등수형 원자력 발전소의 구성을 보인 것이다.

(4) 고온 기체 냉각형 원자력 발전소

경수로와 중수로의 결점은 냉각재의 출구 온도가 낮다는 점인데, 이 결정적인 단점을 보완한 노형이 그림 Ⅰ-32와 같은 고온 기체 냉각형 원자로(high temperature gas cooled reactor)이다.

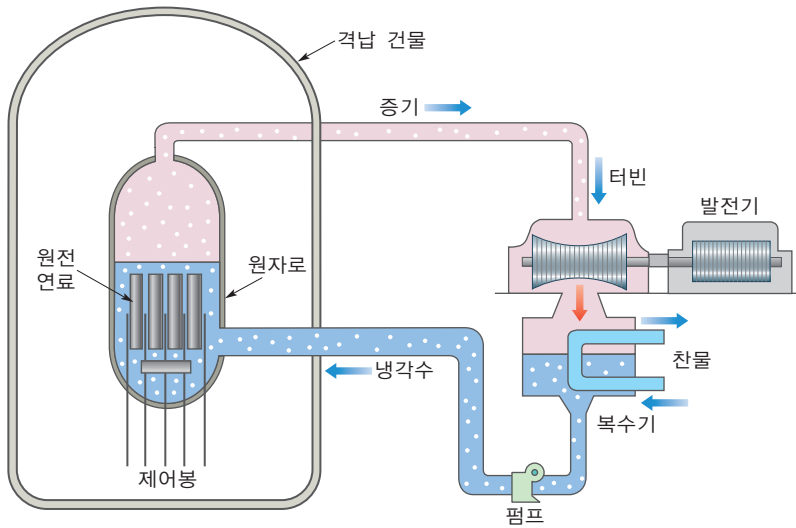



그림 Ⅰ-31 비등수형 원자력 발전

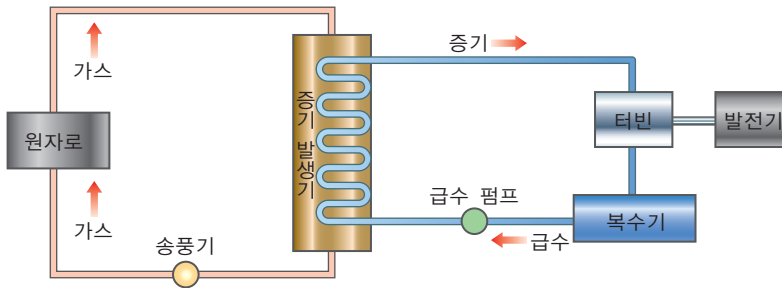



그림 Ⅰ-32 고온 기체 냉각형 원자력 발전

3 원자력의 안전성

1. 방사선과 방사능

방사선은 우리 생활 주변 어디에서나 발생하고 있다. 심지어 우리가 먹는 음식물에서도 나온다. 이처럼 방사선은 우리 생활 주변에 흔히 있지만 특별히 관심을 두지 않아도 되는 적은 양이기 때문에 우리는 아무 문제없이 생활한다. 원자력에는 방사능, 방사선, 방사성 물질이 있다. 방사능은 어떤 물질이 시간당 방사선을 낼 수 있는 능력을 말하고, 방사성 물질은 이러한 능력을 가지고 있는 물질을 말한다.

그림 Ⅰ-33에 나타낸 것과 같이 방사선은 물질을 투과할 수 있는 힘을 가진 광선과 같은 것으로, 그 종류는 알파(α)선, 베타(β)선, 감마(γ)선, 중성자선 등이 있다. 예를 들면, 전구를 방사성 물질이라고 비유하면 빛은 방사선, 빛을 내는 능력은 방사능이라 할 수 있다.

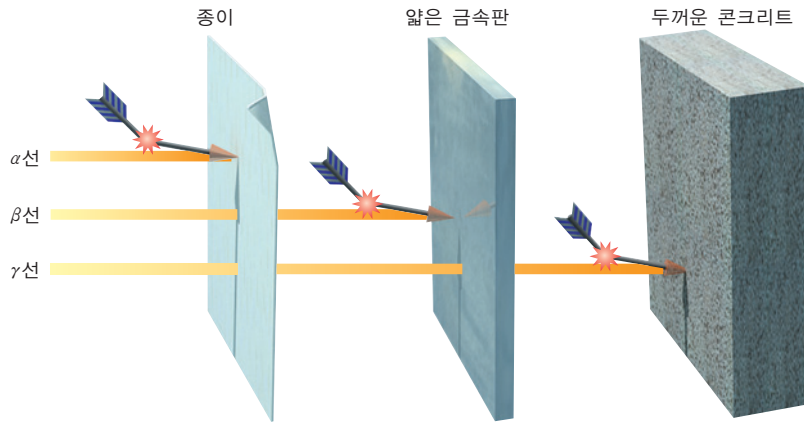



그림 Ⅰ-33 방사선의 종류와 투과력

2. 방사선량의 단위

방사선은 종류에 따라 가지고 있는 에너지의 양도 다르다. 방사선은 볼 수도 없고 느낄 수도 없다. 그러나 가지고 있는 에너지가 얼마나 되는지는 쉽게 측정할 수 있다. 「가이거 계측기」는 방사선을 측정하는 효과적인 측정기이다.

(1) 방사능의 단위

방사능의 단위로는 퀴리(〔Ci〕: curie), 카운트(〔cpm〕: counts per minute) 등의 단위가 사용된다. 방사성 물질을 논할 때에는 퀴리〔Ci〕라는 단위가 사용된다.

1퀴리는 1초 동안에 3.7×10^{10}개가 붕괴되는 방사성 동위 원소의 양으로 정의되며, 세기(강도)를 나타낸다. 카운트는 측정기가 1분간 방사선 수를 센 것을 말한다.

그러나 현재 방사능의 세기를 표시하는 데는 베크렐〔Bq〕이라는 단위를 사용한다. 1초에 1개의 원자가 붕괴할 때 나타나는 방사능의 세기를 1〔Bq〕이라 한다.

(2) 조사선량의 단위

뢴트겐(roentgen)은 실용적으로 엑스(X)선이나 감마(γ)선에 의한 공기 중의 전리 현상(ionization)을 나타내는 척도이다. 발전소에서는 엑스선이 생기지 않으므로 공기의 전리 현상은 감마선에 의해서만 일어날 수 있고, 어느 지역에서 전리는 감마선에 의한 전리 현상의 척도라고 할 수 있다. 감마선 또는 엑스선이 공기에 조사된 방사선량을 조사선량이라 하며, 단위는 뢴트겐〔R〕을 쓴다. 지금은 새로운 국제 단위로 쿨롱/킬로그램〔C/kg〕을 쓰고 있다.

(3) 흡수선량의 단위

방사선량을 측정한다고 하는 것은 어떤 물체에 방사선의 에너지가 얼마나 흡수되는

지를 측정하는 것이다. 이처럼 물질과 조직이 방사선 에너지를 어느 정도 흡수하는가를 표시하는 흡수선량의 단위를 그레이(〔Gy〕 : gray)라 한다. 1그레이란 1〔kg〕당 1〔J〕의 에너지가 흡수될 때의 흡수 방사선량을 말한다. 전에 사용하던 래드〔rad〕라는 단위와 그레이 간에는 1〔Gy〕=100〔rad〕의 관계가 있다.

⑷ 등가선량(선량 당량)의 단위

방사선이 우리의 관심을 끄는 중요한 이유 중의 하나는, 우리 몸(신체)에 미칠 수 있는 영향, 즉 생물학적 영향 때문이다. 이 경우에는 특별히 렘〔Rem〕이라는 단위를 사용한다. 1렘의 1천분의 1을 1밀리렘〔mRem〕이라고 하며, 밀리렘은 우리가 일상생활에서 많이 사용하는 단위이다.

요즘에는 시버트(〔Sv〕 : sivert)라는 새로운 단위를 사용하고 있다. 시버트는 방사선의 형태와는 관계없이 어떠한 방사선이든지 그 방사선으로 인한 일정한 생물학적 효과만을 나타내는 단위이다. 적은 양의 방사선을 나타낼 때에는 1시버트〔Sv〕의 1천분의 1인 1밀리시버트〔mSv〕를 사용한다. 1밀리시버트는 100밀리렘과 같으며, 병원에서 흉부에 X선을 1회 촬영할 때 약 100밀리렘의 방사선을 받는다고 말하는데 요즘은 1밀리시버트를 받는다고 말하기도 한다.

표 Ⅰ-6은 종래에 쓰이던 방사선의 측정 단위와 새로운 측정 단위를 보인 것이다.

표 Ⅰ-6 방사선의 측정 단위

구분		새로운 단위	종래 단위	환산
방사능 단위		베크렐〔Bq〕	퀴리〔Ci〕	1〔Ci〕=3.7×10^{10}〔Bq〕 1〔Bq〕=2.7×10^{-11}〔Ci〕
방사선량에 관한 단위	조사선량	쿨롱/킬로그램〔C/kg〕	뢴트겐〔R〕	1〔R〕=2.58×10^{-4}〔C/kg〕 1〔C/kg〕=3.88×10^{3}〔R〕
	흡수선량	그레이〔Gy〕	래드〔rad〕	1〔rad〕=0.01〔Gy〕 1〔Gy〕=100〔rad〕
	선량 당량	시버트〔Sv〕	렘〔Rem〕	1〔Rem〕=0.01〔Sv〕 1〔Sv〕=100〔Rem〕

3. 다중 방호

원자력 발전소는 사고 예방, 사고의 조속한 탐지와 완화, 유출된 방사성 물질의 봉쇄와 방어 대책의 3단계 심층 방어 개념에 의해 설계된다. 원자로의 사고는 방사성 물질이 밖으로 나가는 것을 뜻하기 때문에 이것을 가두어 두는 것이 안전성을 확보하는 것이다. 방호 설비는 그림 Ⅰ-34와 같이 5겹의 방사능 밀폐 장벽을 설치해 그 중 어느

하나라도 정상적인 제 기능을 발휘한다면 방사성 물질의 누출을 효과적으로 막을 수 있도록 되어 있다.

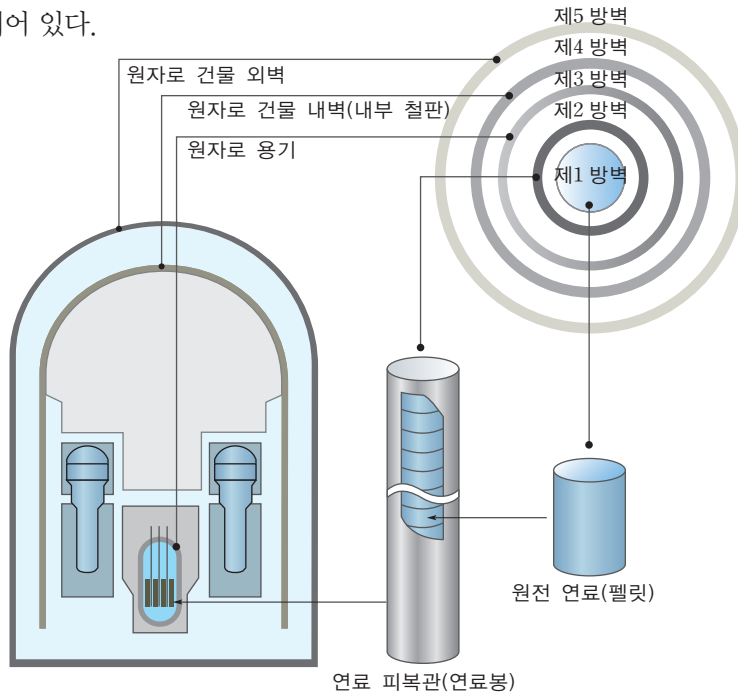



그림 Ⅰ-34 원자력 발전소의 다중 방호벽

(1) **제1 방벽(원전 연료)**

핵분열에 의해 생기는 방사성 물질(고체, 기체)의 대부분을 1차 밀폐시킨다.

(2) **제2 방벽(연료 피복관)**

원전 연료 펠릿을 담고 있는 원전 연료봉을 말한다. 피복 재질은 열, 방사선, 부식에 강한 지르코늄 합금이다. 펠릿에서 새어 나온 소량의 기체 방사성 물질까지 밀폐시킨다.

(3) **제3 방벽(원자로 용기)**

원전 연료 집합체들과 그 밖의 원자로 구성품을 내장하고 있는 용기로 피복관에서 새어 나온 방사성 물질을 밀폐시킨다. 고온, 고압에 견딜 수 있도록 20~25〔cm〕 두께의 강철로 된 용기이다.

(4) **제4 방벽(원자로 건물 내벽)**

3~6〔cm〕 두께의 내부 철판으로 중대 사고시에 방사성 물질이 누출되지 않도록 철저히 격납 용기 안에 밀폐시킨다.

(5) **제5 방벽(원자로 건물 외벽)**

120〔cm〕 두께의 철근 콘크리트 벽으로 격납 용기(원자로 건물)라 하며, 방사성 물질의 외부 환경 누출을 막아 주는 최종적인 차폐 벽이다.

4. 안전 감시

원자력 발전소는 운전 과정에서 약간의 방사성 물질이 생겨나므로 정부 규제 기관의 엄격한 심사를 거쳐 안정성이 확인되어야만 운영 허가를 얻을 수 있다. 발전소 건설시 설계, 시공, 운전 등 각 단계별로 시행된다. 허가 후에도 운전 중에 일어나는 안전 관리 사항에 대하여 주기적으로 정부에 보고하고, 시험 검사를 받아야 한다.

발전소 건물 밀폐는 물론, 환경에 어떠한 변화나 영향을 주는지 발전소 인근에 방사능 감시 설비를 세워 놓아 감시하고 있다.

국제적으로도 국제 원자력 기구(IAEA: International Atomic Energy Agency)의 정기적인 검사를 받아 엄격한 안전 관리를 하고 있다.

5. 방사성 폐기물

(1) 방사성 폐기물

가동 중인 원자력 발전소에서 생성되는 방사성 폐기물에는 액체 폐기물, 기체 폐기물, 고체 폐기물이 있으며, 그림 Ⅰ-35는 방사선 폐기물의 처리에 대한 것을 보인 것이다.

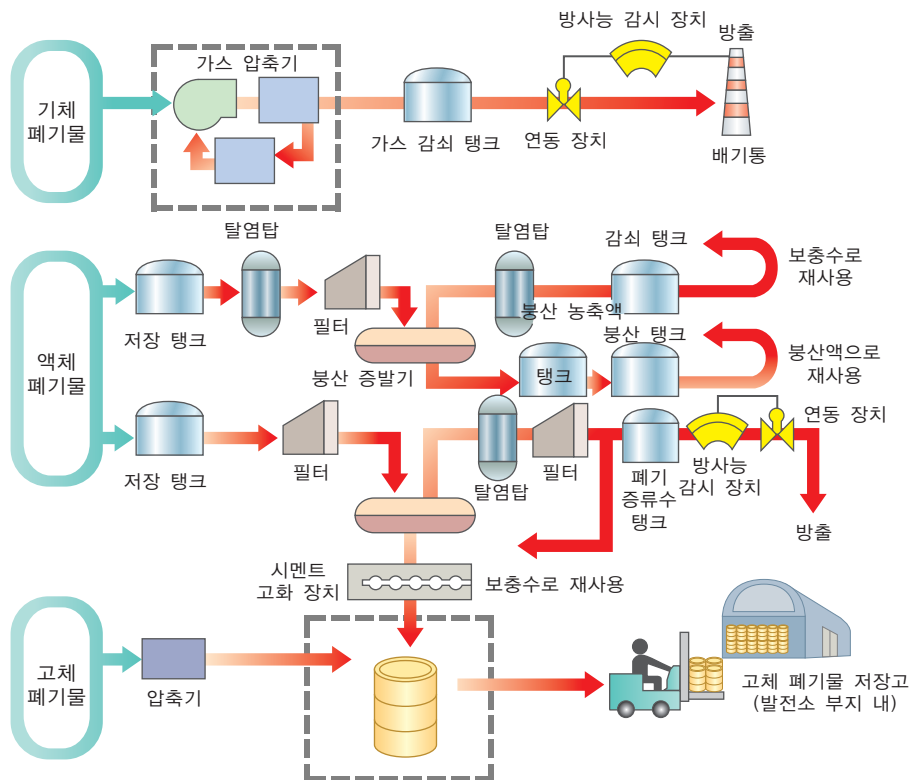



그림 Ⅰ-35 방사선 폐기물의 처리

1) 기체 폐기물

폐기물 생성원은 배기 기체, 기기에서 누설된 기체, 배기 계통에서 생성된 배기 기체 등으로 분류할 수 있다.

2) 액체 폐기물

액체 폐기물 중 재사용이 가능할 정도로 수질이 좋으면 탱크에 수집한다. 이것을 증발 장치에 의해 맑은 물과 찌꺼기로 분리하며, 맑은 물은 발전소 내에서 재사용하고, 걸러 낸 찌꺼기는 고체 폐기물로 처리된다.

3) 고체 폐기물

기기의 점검, 정비 등에 사용하고 버리는 폐기물은 특수하게 제작된 55갤런의 드럼에 시멘트와 섞어 넣어 고체로 만든 다음 폐기물 저장고에 보관한다. 또한 사용 후의 원전 연료는 우라늄(U)－235와 플루토늄(Pu)－239가 각각 약 1〔%〕 정도 남아 있으므로 집중 관리한다.

(2) 원자력 발전소의 사후 처리

원자력 발전소의 수명은 30～40년으로서 밀폐 관리 방식, 차폐 격리 방식, 해체 철거 방식 등을 통하여 처리하고 있다.

탐 | 구 | 활 | 동

원자력 발전소의 다중 방호의 5단계를 쓰시오.

답 제1 방벽(원전 연료), 제2 방벽(연료 피복관), 제3 방벽(원자로 용기), 제4 방벽(원자로 건물 내벽), 제5 방벽(원자로 건물 외벽)

4 원자력 기술 개발

1. 고속 증식로

고속 증식로(fast breeder reactor)의 원전 연료는 플루토늄(PuO_2)과 우라늄이 혼합된 것이다. 약 15～20〔%〕 정도의 농축도로 된 노심(core)과 그 외곽에 경수로나 중수로에서 원전 연료로 사용하고 남은 감손 우라늄이나 이산화우라늄을 장전해 Pu－239가 중성자에 의해 핵분열되어 열에너지를 제공한다.

핵분열에 사용되는 중성자가 경수로와는 달리 감속재가 필요하지 않은 고에너지일

경우, 원전 연료인 플루토늄이 15~20〔%〕의 농축도이면 핵분열로 소모되는 원전 연료(U-235)보다 U-238에서 생성되는 Pu-239의 양이 약 1.3배 정도로 더 많아진다. 이 현상을 원전 연료의 증식이라고 하고, 그림 Ⅰ-36과 같은 원자로를 고속 증식로라 한다.

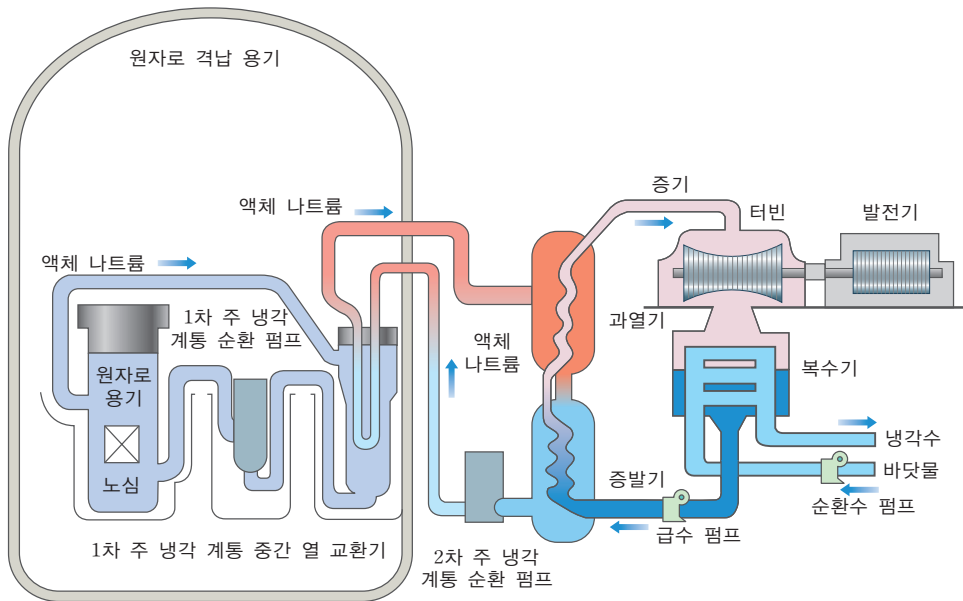



그림 Ⅰ-36 고속 증식로

2. 핵융합로

핵융합로(fusion reactor)의 원리는 가벼운 원자핵(수소, 중수소, 헬륨 등)끼리 합쳐져(핵융합) 질량이 무거운 원소로 되면서 전체 질량은 가벼워지는데, 이 가벼워진

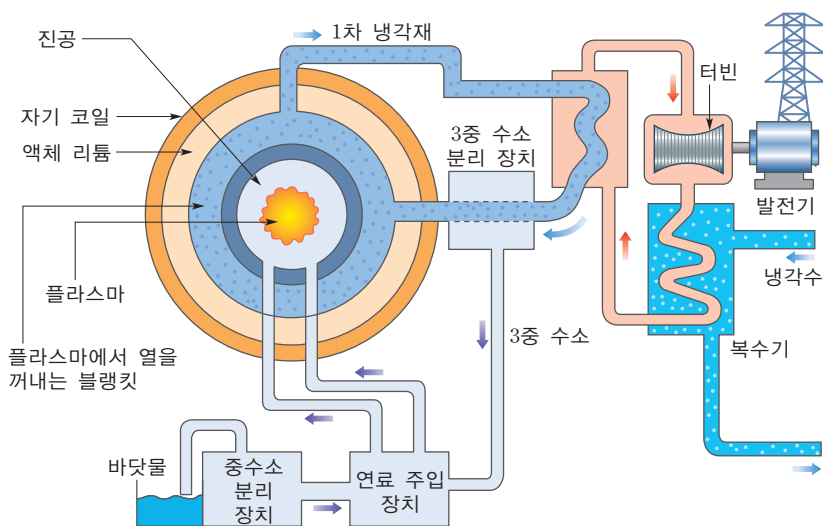



그림 Ⅰ-37 핵융합로 발전 계통도

질량만큼의 열에너지가 방출되는 것이다.

이 열을 이용하여 발전하는 것이 핵융합 발전이며, 핵융합로 발전 계통도는 그림 Ⅰ-37과 같다.

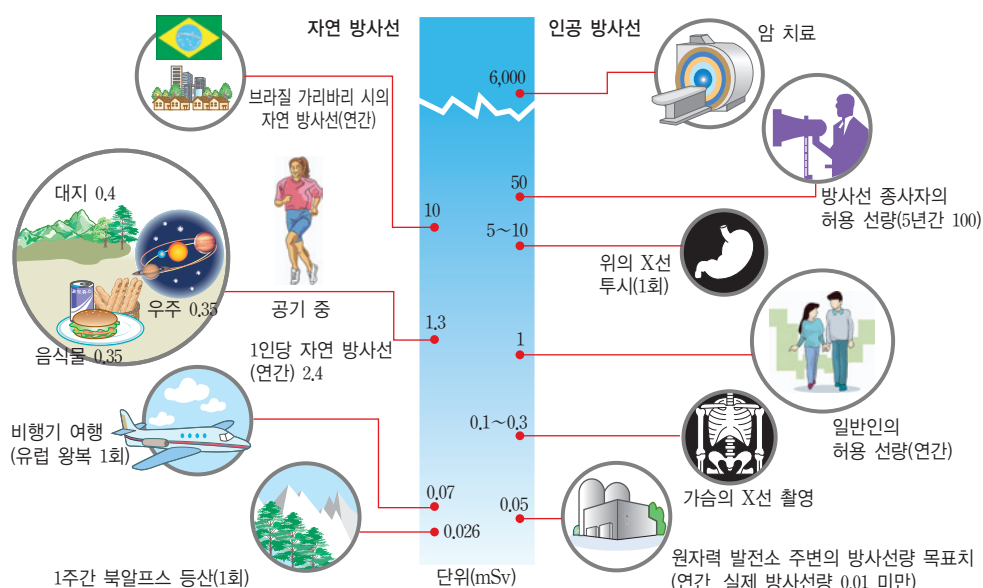
바닷물 속에 있는 중수소를 연료로 이용하여 핵융합에 사용한다면 지구상의 총 에너지 수요를 수십억 년간 만족시킬 수 있는 양이 된다.

또 핵분열시 나오는 핵분열 생성물의 경우와 같은 강한 방사능 물질이 생기지 않는 이점도 있다.

웹사이트에서 자료 찾기

- http://www.kepco.co.kr (한국전력공사)
- http://www.khnp.co.kr (한국수력원자력)
- http://www.kopec.co.kr (한국전력기술)
- http://www.electricity.or.kr (대한전기협회)
- http://www.keca.or.kr (한국전기공사협회)
- http://www.knef.or.kr (한국원자력문화재단)

읽을거리 자연 방사선과 인공 방사선의 비교

단원 학습 정리

1 원자력 발전 : 원자력 발전은 원자로 내에서 우라늄-235의 핵분열 반응에 의해 열을 얻고, 그 열로 증기를 생산하여 터빈을 돌려 전기를 얻는 발전 방식이다.

2 원자력의 원리

(1) 원자의 구조 : 원자는 원자핵과 전자로 이루어져 있으며, 원자핵 안에는 양전하를 띤 양자와 전하가 없는 중성자가 들어 있다. 그리고 원자에서는 양자와 전자의 수가 똑같다.

(2) 핵분열과 에너지

① 핵반응 : 2개의 서로 다른 원자핵 또는 핵자가 충돌하여 2개 이상의 새로운 핵입자 또는 감마선이 생겨 나오는 반응을 핵반응이라 한다.

② 핵분열 : 일반적으로 핵반응은 표적 핵에 α선, β선, 양자, 중성자 등의 입자를 충돌시켜서 일어나게 되며, 그 결과 새로운 핵이 생김과 동시에 γ선이나 가벼운 입자가 따라 나온다. 이와 같은 반응 현상을 핵분열이라 한다.

③ 핵분열 연쇄 반응 : 핵분열에 따라 새로이 생성된 중성자 약 2～3개에 의해 2차 핵분열이 일어나고, 또 2차 핵분열로 생긴 중성자에 의해 3차 핵분열이 일어난다. 이렇게 새로이 생성된 중성자를 다음의 핵분열에 바로 이용함으로써 외부로부터 중성자 보급 없이도 계속하여 핵분열을 일으킬 수 있게 되는데, 이 과정을 핵분열 연쇄 반응이라 한다.

3 원자력 발전소

(1) 원자로의 구성 : 원전 연료, 감속재, 냉각재, 제어 장치 등으로 구성되어 있다.

(2) 원전 연료의 구성 : 원자로에서 사용되는 연료는 우라늄(U)이며, 이산화우라늄(UO_2) 형태로 만들어 사용하고 있다. 우라늄 가루(분말)를 구어서 만든 약 1〔cm〕 길이의 분필 같은 모양의 원전 연료를 펠릿(pellet)이라고 하며, 이것을 약 4〔m〕 길이의 지르코늄 합금의 튜브 안에 일렬로 집어 넣어 봉 모양으로 만든다.

(3) 원자력 발전소의 주요 기기

① 1차 계통 : 원자로, 가압기, 증기 발생기, 냉각재 펌프

② 2차 계통 : 터빈, 발전기, 복수기, 급수 펌프

(4) 원자력 발전소의 종류

① 가압 경수형 원자력 발전소 : 경수를 감속재와 냉각재로 사용한 원자로이다.

② 가압 중수형 원자력 발전소 : 감속재와 냉각재로 중수(D_2O)를 사용한다.

③ 비등수형 원자력 발전소 : 경수로와 기본 구성은 비슷하며, 원전 연료는 약 3〔%〕 저농축 우라늄을 사용하며, 감속재와 냉각재로는 경수(H_2O)가 사용된다.

④ 고온 기체 냉각형 원자력 발전소 : 경수로와 중수로의 결함은 냉각재의 출구 온도가 낮다는 점인데, 이 결정적인 단점을 보완한 노형이다.

4 원자력의 안정성

(1) 방사선과 방사능

① 방사선 : 물질을 투과할 수 있는 힘을 가진 광선과 같은 것으로, 그 종류는 알파선, 베타선, 감마선, 중성자선 등이 있다.

② 방사능 : 어떤 물질이 시간당 방사선을 낼 수 있는 능력

③ 방사선 측정 단위 : 뢴트겐〔R〕, 그레이〔Gy〕와 래드〔rad〕, 시버트〔Sv〕와 렘〔Rem〕이 있다. 여기서 뢴트겐은 조사선량의 단위이고, 그레이와 래드는 흡수선량의 단위, 시버트와 렘은 선량 당량의 단위이다.

(2) 다중 방호 : 원자로의 사고는 방사성 물질이 밖으로 나가는 것을 뜻하기 때문에 이것을 가두어 두는 것이 안전성을 확보하는 것이다.

방호 설비는 5겹의 방사능 밀폐 장벽을 설치해 그 중 어느 하나라도 정상적인 제 기능을 발휘한다면 방사성 물질의 누출을 효과적으로 막을 수 있도록 되어 있다.

제1 방벽(원전 연료), 제2 방벽(연료 피복관), 제3 방벽(원자로 용기), 제4 방벽(원자로 건물 내벽), 제5 방벽(원자로 건물 외벽)

(3) 안전 감시 : 원자력 발전소는 정부 규제 기관의 엄격한 심사를 거쳐 안정성이 확인되어야만 운영 허가를 얻을 수 있다. 국제적으로도 국제 원자력 기구(IAEA)의 정기적인 검사를 받아 엄격한 안전 관리를 하고 있다.

(4) 방사성 폐기물 : 가동 중인 원자력 발전소에서 생성되는 방사성 폐기물에는 액체 폐기물, 기체 폐기물, 고체 폐기물이 있다.

(5) 원자력 발전소의 사후 처리 : 원자력 발전소의 수명은 30∼40년으로서 사후 관리 방식으로는 밀폐 관리 방식, 차폐 격리 방식, 해체 철거 방식 등이 있다.

5 원자력 기술 개발

(1) 고속 증식로 : 핵분열에 사용되는 중성자가 경수로와는 달리 감속재가 필요하지 않은 고에너지일 경우, 원전 연료인 플루토늄이 15∼20〔%〕의 농축도이면 핵분열로 소모되는 원전 연료(U-235)보다 U-238에서 생성되는 Pu-239의 양이 약 1.3배 정도로 더 많아진다.

이 현상을 원전 연료의 증식이라고 하며, 이러한 노를 고속 증식로라 한다.

(2) 핵융합로 : 현재 사용하고 있는 원자로는 핵분열 에너지를 이용하는 것이나, 핵융합로는 가벼운 원자핵(수소, 중수소, 헬륨 등)끼리 합쳐져(핵융합) 질량이 무거운 원소로 되면서 전체 질량은 가벼워지는데, 이 가벼워진 질량만큼의 열에너지가 방출되는 것을 이용한다. 그리고 이렇게 발전하는 것이 핵융합 발전이다.

단원 종합 문제

1 원자력 발전 연료로 가장 많이 쓰이는 우라늄의 동위 원소는?

① $^{233}_{92}U$ ② $^{234}_{92}U$ ③ $^{235}_{92}U$ ④ $^{236}_{92}U$ ⑤ $^{238}_{92}U$

2 원자력 발전은 핵분열에서 어느 것을 이용한 것인가?

① 바람 ② 열 ③ 방사선 ④ 방사능 ⑤ 소리

3 원자로의 감속재로 쓰이지 않는 것은?

① 중수 ② 흑연 ③ 물 ④ 납 ⑤ 경수

4 원자로의 구성이 아닌 것은?

① 보일러 ② 원전 연료 ③ 감속재 ④ 냉각재 ⑤ 제어 장치

5 원자력 발전소의 주요 기기가 아닌 것은?

① 원자로 ② 가압기 ③ 증기 발생기 ④ 냉각재 펌프 ⑤ 조압 수조

6 원자력 발전소의 종류가 아닌 것은?

① 가압 경수형 원자력 발전소 ② 가압 중수형 원자력 발전소
③ 비등수형 원자력 발전소 ④ 저온 냉각형 원자력 발전소
⑤ 고온 기체 냉각형 원자력 발전소

7 원자력 발전소의 안전을 위하여 다중 방호를 실시한다. 제1 방벽으로 하는 것은 무엇인가?

① 원전 연료 ② 연료 피복관 ③ 원자로 용기
④ 원자로 건물 내벽 ⑤ 원자로 건물 외벽

8 원자력의 안전 감시 등을 위한 국제 기구는?

① IEEA ② NGO ③ IAEA ④ WWW ⑤ KSC

9 원자력을 이용한 발전에서 새로운 기술에 대하여 설명하여 보자.

정답 | 1 ③ 2 ② 3 ④ 4 ① 5 ⑤ 6 ④ 7 ① 8 ③ 9 생략

- 교육과학기술부(2009). 『고등학교 전력 설비 Ⅰ』. (주)두산동아.
- 교육부(1999). 『고등학교 전력』. (주)대한교과서.
- 한국전력(1999). 『우리가 선택한 원자력 발전』. 한국전력.

그 밖의 발전

학습 목표 |

1. 태양 에너지를 이용한 발전에 대하여 설명할 수 있다.
2. 지열, 풍력, 해양 에너지를 이용한 발전에 대하여 설명할 수 있다.
3. 바이오 에너지를 이용한 발전에 대하여 설명할 수 있다.
4. 신 에너지의 종류와 원리에 대하여 설명할 수 있다.

1 자연 에너지 발전

석유 등의 화석 연료나 우라늄 등의 핵연료를 수입에 의존하고 있는 우리나라는 지구 환경 문제, 청정에너지 자원의 확보가 중요한 과제로 되어 있다.

우리나라에서는 신 · 재생 에너지의 범위를 「신 에너지 및 재생 에너지 개발 · 이용 · 보급 촉진법」 제2조의 규정에 의거 "기존의 화석 연료를 변환시켜 이용하거나 햇빛, 물, 지열, 강수, 생물 유기체 등을 포함하여 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지"로 정의하고 신 · 재생 에너지를 11개 분야로 구분하고 있다.

① **재생 에너지** : 태양광, 태양열, 바이오, 풍력, 수력, 해양, 폐기물, 지열(8개 분야)

② **신 에너지** : 연료전지, 석탄액화가스화 및 중질잔사유가스화, 수소에너지(3개 분야)

신 · 재생 에너지는 초기의 과다한 투자에도 화석에너지의 고갈 문제와 환경 문제에 대한 핵심 해결 방안이라는 점에서 선진 각국에서 이에 대한 과감한 연구 개발과 보급 정책 등을 추진하고 있다. 최근 유가의 불안정, 기후변화협약 규제 대응 등 신 · 재생 에너지의 중요성이 재인식되면서 에너지 공급 방식의 다양화가 필요하다.

여기서는 태양, 지열, 풍력, 해양 발전 및 바이오 에너지 발전 등의 자연 에너지를 이용한 발전 시스템의 기술 개발에 대하여 알아보기로 하자.

1. 태양 에너지 발전

자연 에너지 중에서 에너지량이 광대한 태양 에너지를 이용한 태양광 발전이나 태양열 발전이 기대되고 있다.

(1) 태양광 발전

태양광 발전은 태양광을 직접 전기 에너지로 변환시키는 기술로서, 태양 전지(solar cell, solar battery)가 햇빛을 받으면 광전효과에 의해 전기를 발생하는 발전 방식이다. 태양광 발전 시스템의 구성은 태양 전지 모듈과 축전지, 전력 변환 장치로 되어 있다.

태양 전지는 그림 Ⅰ-38과 같이 태양 에너지를 전기 에너지로 변환할 목적으로 제작된 광전지이다. 금속과 반도체의 접촉면 또는 반도체의 pn접합에 빛을 쪼이면 광전효과에 의해 광기전력이 일어나는 것을 이용한 것이다. 금속과 반도체의 접촉을 이용한 것으로는 셀렌광전지, 아황산구리광전지가 있고, 반도체 pn접합을 사용한 것으로는 태양 전지로 이용되고 있는 실리콘광전지가 있다.

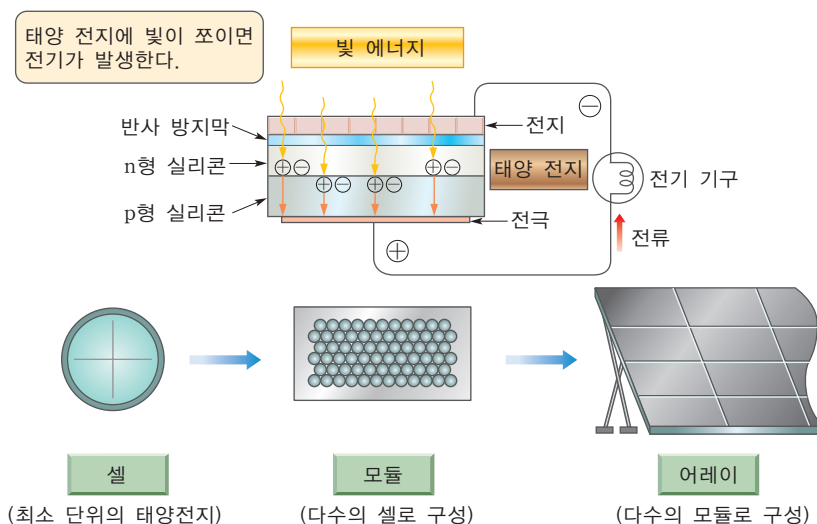



그림 Ⅰ-38 태양 전지의 발전 원리

사용할 수 있는 전압과 전류를 얻기 위해 태양 전지 소자(셀)를 직 · 병렬로 다수 연결한 모듈을 사용한다. 이러한 기술은 우주 위성용이나 등대용 등에 사용되며 전자 계산기나 시계 등에도 확대 보급되어 있다.

태양광 발전은 직접 조사나 단속적 조사에 의해서 태양 에너지를 유효하게 이용할 수 있으므로 태양열 발전에 비해 소규모 발전(분산형 전원)이면서 경제성이 우수한 특징이 있다. 또한 태양 전지로 주행하는 솔라 카, 태양 전지로 충전해 움직이는 전기 자동차, 가솔린차와 솔라 카의 특징을 살린 혼성 카, 솔라 포트 등 각종 솔라 장치의 개발이 적극적으로 추진되고 있다.

⑵ 태양열 발전

태양열 에너지는 에너지 밀도가 낮고 계절별, 시간별 변화가 심한 에너지이므로, 집열과 축열 기술이 가장 기본이 된다.

태양열 발전은 태양 에너지를 반사경으로 집광 · 집열하여 축열 장치에 저장시킨 뒤 증기로 터빈 발전기를 돌려 전기 에너지를 발생시키는 방식이다.

태양 광선의 광열학적 성질을 이용하여 흡수, 저장, 열변환 등을 통하여 건물의 냉난방이나 급탕 등에 주로 활용한다. 최근에는 태양열의 집열과 축열에 대해 시스템 제어, 시스템 설계 기술의 발달로 태양열 온수 급탕 시스템, 태양열 냉난방 시스템, 태양열 산업 공정열 시스템, 태양열 발전 시스템 등에 이용하고 있다.

2. 지열, 풍력, 해양 발전

태양 에너지 발전 외에 개발이 진행되고 있는 자연 에너지 발전에는 지열 발전, 풍력 발전, 해양 발전 등이 있다.

⑴ 지열 발전

지열 발전은 지하수, 지하의 열 등의 온도차를 이용하여 냉난방에 활용하는 것이다. 태양열의 약 47〔%〕가 지표면을 통해 지하에 저장되며, 이렇게 태양열을 흡수한 땅속의 온도는 지형에 따라 다르지만 지표면 가까운 땅속의 온도는 개략 10～20〔℃〕정도 유지해 열펌프를 이용하는 냉난방 시스템에 이용되고 있다. 우리나라 일부 지역의 심부(지중 1～2〔km〕) 지중 온도는 80〔℃〕 정도로서 직접 냉난방에 이용이 가능하다.

지열을 이용한 발전소는 1000〔℃〕 전후의 마그마에 의해 자연 지하수로부터 발생되는 고온, 고압의 증기를 이용해서 발전하고 있지만, 새로운 발전 방식으로 고온 암체 발전이나 마그마 발전이 기대되고 있다.

고온 암체 발전은 깊이 2～4〔km〕까지의 고온 암체에 수압 파괴법으로 인공 균열을 만든 뒤 지상에서 주입된 물의 증기나 열수를 얻어 발전하는 방식이다. 그림 Ⅰ-39는 지열 발전소의 예를 나타낸 것이다.

⑵ 풍력 발전

태양광 에너지 다음으로 기대되고 있는 자연 에너지 발전은 풍력 발전이다. 풍력 발전은 풍력 에너지를 풍차에 의해 회전 에너지로 바꾸고 이를 풍차에 연결된 발전기에 의하여 전기로 변환시키는 발전 방식이다.

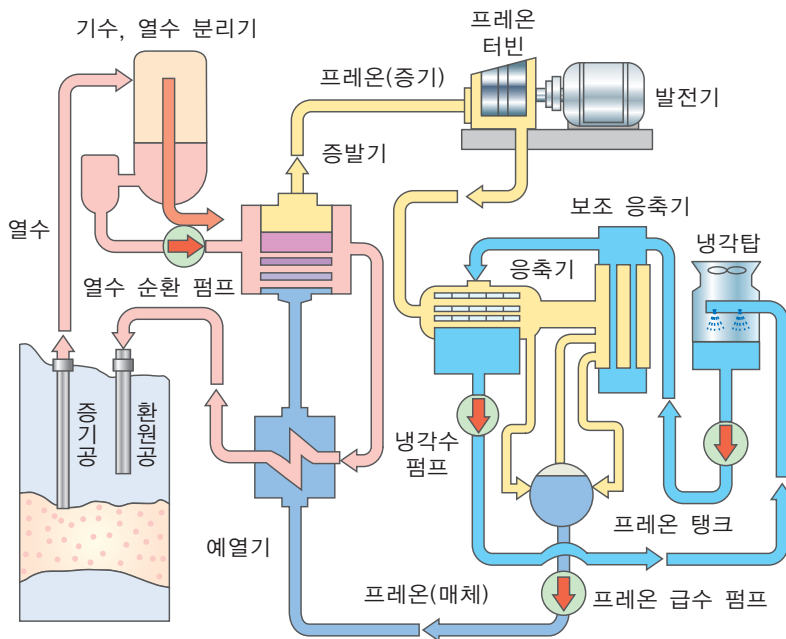



그림 Ⅰ-39 지열 발전 개요

풍력 발전의 구성은 에너지를 흡수, 변환하는 운동량 변환 장치, 동력 전달 장치, 동력 변환 장치, 제어 장치 등으로 되어 있다. 구조상으로(회전축 방향) 분류하면 수평축 풍력 시스템에는 프로펠러형이, 수직축 풍력 시스템에는 다리우스형, 사보니우스형이 있다.

수직축형은 바람의 방향과 관계가 없어 사막이나 평원에 많이 설치한다. 그러나 소재가 비싸고 수평축 풍차에 비해 효율이 떨어지는 단점이 있다. 수평축형은 간단한 구조로 이루어져 있어 설치하기 편리하나 바람의 방향에 영향을 받는다. 중대형급 이상은 수평축형을 사용하고, 100〔kW〕급 이하 소형은 수직축형이 사용된다. 그림 Ⅰ-40은 풍차의 종류를 보인 것이다.

풍차에서 얻어지는 에너지는 풍차의 회전 면적에 비례하고 풍속의 3배에 비례한다. 그러나 바람의 운동 에너지에 비해 실제로 얻어지는 에너지는 10~30〔%〕 정도이고 이상적인 상태에서도 60〔%〕가 한계로 되어 있다. 풍향이 좋은 곳에 다수의 풍차를 집중적으로 설치하는 방식을 윈드 팜(wind farm)이라 한다. 특히 미국은 소요 전력의 약 3〔%〕 정도를 풍력 발전으로 대치하고 있다. 해안에서 떨어진 약 10〔m〕 깊이의 바다 위에 설치하는 해양 풍력 발전도 스웨덴, 덴마크 등 유럽에서 활발히 진행되고 있다.

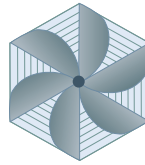
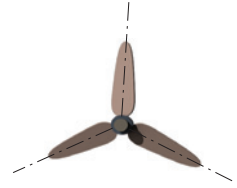
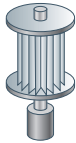
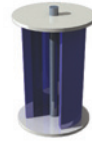



그림 Ⅰ-40 풍차의 종류

(3) 해양 발전

해양 에너지는 해양의 조수, 파도, 해류, 온도차 등을 변환시켜 전기 또는 열을 생산하는 기술로서 전기를 생산하는 방식은 조력, 파력, 조류, 온도차 발전 등이 있다.

조력 발전은 태양과 달의 인력 작용에 의해서 일어나는 해면의 고저차를 유효하게 이용하여 발전하는 방식이며, 동력원으로 해수면의 상승 하강 운동을 이용하여 전기를 생산하는 방법이다.

파력 발전은 파도의 운동 에너지를 다른 역학 에너지로 변환시키기 위한 1차 변환 장치로 유압 피스톤이나 유압 모터를 쓴다. 2차 변환 장치는 공기 터빈이나 수류 터빈 등으로 구성되어 발전기와 연결해 전력을 얻는 방식이다. 2차 변환 장치에는 에너지의 평활화와 저장 기능이 포함된다.

그림 Ⅰ-41은 공기 터빈 방식에 의한 파력 발전의 예를 보인 것이다.

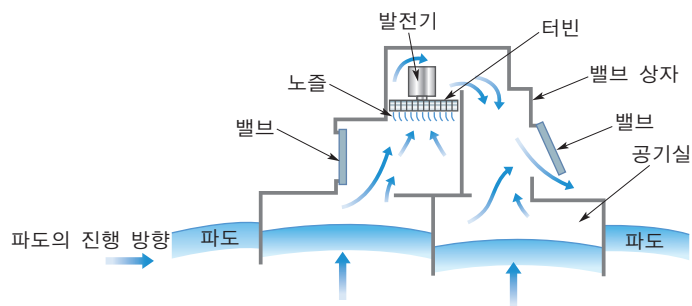



그림 Ⅰ-41 공기 터빈 방식에 의한 파력 발전

조류 발전은 해수의 유동에 의한 운동 에너지를 이용하여 전기를 생산하는 발전이며, 우리나라에서는 전남 울돌목에 설비 용량 1000〔kW〕의 조류 발전으로 2.4〔GWh〕의 전기를 생산하고 있다.

온도차 발전은 해양 표면층의 온수(예 : 25～30〔℃〕)와 심해 500～1000〔m〕정도의 냉수(예 : 5～7〔℃〕)의 온도차를 이용하여 열에너지를 기계적 에너지로 변환시켜 발전하는 기술로서 해양 표층에서 더운 해수를 끌어올려 이 열로 암모니아 등의 작업 매체를 기화시켜서 터빈을 돌려 발전한다. 터빈에서 나온 증기는 응축기에서 심층에서 끌어올린 냉해수에 열을 빼앗겨 응축하여 액화되며 순환한다. 그림 Ⅰ-42는 해양 온도차 발전의 원리를 보인 것이며, 이 방식은 주야 구별이 없이 발전할 수 있는 특징이 있다. 표층 온도와 수심 1000〔m〕의 온도차가 20〔℃〕 정도 이상이면 입지 가능 지역이 된다.

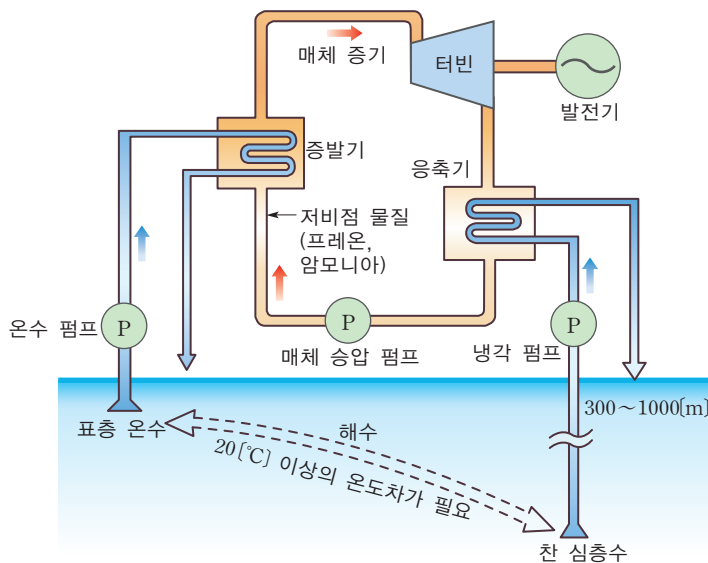



그림 Ⅰ-42 해양 온도차 발전의 원리

농도차 발전은 해수와 담수가 만나는 곳의 물 농도차를 이용한 것으로 삼투압의 차이를 해수의 위치 에너지로 변환시켜 발전하는 방식이다.

표 Ⅰ-7은 해양 발전의 종류에 따른 입지 조건을 보인 것이다.

표 Ⅰ-7 해양 발전의 종류와 입지 조건

종류	입지 조건
조력 발전	• 평균 조차 : 3〔m〕 이상 • 폐쇄된 만의 형태 • 해저의 지반이 강고 • 에너지 수요처와 근거리
파력 발전	• 자원량이 풍부한 연안 • 육지에서 거리 30〔km〕 미만 • 수심 300〔m〕 미만의 해상 • 항해, 항만 기능에 방해되지 않을 것
조류 발전	• 조류의 흐름이 2〔m/s〕 이상인 곳 • 조류 흐름의 특징이 분명한 곳
온도차 발전	• 연중 표 · 심층수의 온도차가 20〔℃〕 이상인 기간이 많을 것 • 어업과 선박 항행에 방해되지 않을 것
농도차 발전	• 해수와 담수가 만나는 곳

3. 바이오 에너지 이용 발전

바이오매스(Biomass, 유기성 생물체를 총칭)는 태양 에너지를 받은 식물과 미생물의 광합성에 의해 생성되는 식물체, 균체와 이를 먹고 살아가는 동물체를 포함하는 생물 유기체를 말한다. 바이오 에너지를 이용한 발전은 바이오매스를 직접 또는 생 · 화학적, 물리적 변환 과정을 통해 액체, 가스, 고체 연료나 전기 · 열에너지 형태로 이용하는 것이다.

(1) 바이오 에너지

바이오 집합체를 에너지원으로 생각하는 경우 유기 폐기물 등의 바이오 집합체나 태양 에너지 등에서 변환 수단을 통하여 생성 또는 배출된 수소, 메탄 등을 바이오 에너지라 한다. 이들을 이용하여 발전하는 방식이 바이오 에너지 이용 발전이다.

바이오 에너지로 변환하는 수단으로서 미생물을 이용하여 발효나 광합성으로 수소 등을 생산하는 시스템, 또는 생물의 능력을 인공적으로 이용하여 수소를 생산하는 인공 광합성 시스템 등이 있다. 표 Ⅰ-8은 바이오 에너지의 변환 흐름을 나타낸 것이다.

또한, 광합성을 이용하여 발전하는 방식으로 광합성 미생물 전지가 연구되고 있다. 해조류의 미생물을 배양하여 인산이나 염이 함유된 용액에 넣어 태양광을 쬐어 광합성을 시킬 때 물이 분해하면서 발생하는 전자를 음극에서 얻는 것이다. 그림 Ⅰ-43은

광합성 미생물 전지 구조의 예를 나타낸 것이다.

표 Ⅰ-8 바이오 에너지의 변환 흐름

1차 에너지	교환 수단	바이오 에너지
	발효	메탄올
바이오 집합체(유기 폐기물 등)	발효	메탄
	염기 · 발효	
바이오 집합체+태양	광합성 세균	수소
태양	녹말류	
메타놀(수소의 변환)	인공 광합성	
	인공 촉매	연료 전지

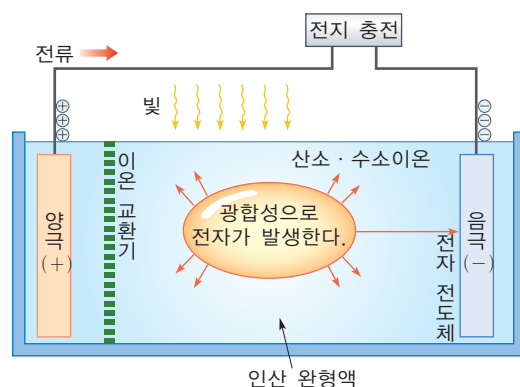



그림 Ⅰ-43 광합성 미생물 전지의 구조

발전용의 바이오 집합체에는 장작, 왕겨, 유기 폐기물(쓰레기, 폐자재) 등이 있다. 바이오 집합체 발전은 이들 바이오 집합체를 직접 연소시키거나 메탄, 메탄올, 알코올 등의 바이오 에너지를 연소시켜 발전한다.

2 신 에너지 발전

1. 연료 전지 발전

연료 전지 발전은 화력, 수력, 원자력 다음으로 가장 유망한 위치를 차지해 제4의 발전 방식으로 각광받고 있다. 연료 전지는 수소와 산소의 화학 반응으로 생기는 화학 에너지를 직접 전기 에너지로 변환시키는 기술로서 생성물이 전기와 물로서 발전 효율 30∼40〔%〕, 열효율 40〔%〕 이상으로 총 70∼80〔%〕의 효율을 갖는 신기술이다.

$$H_2+\frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O+\text{전기} \cdots\cdots (\text{I}-6)$$

(1) 연료 전지의 발전 원리(단위전지)

연료 전지는 연료의 산화 반응과 산소의 환원 반응(산화 환원 반응)을 전기 화학적으로 처리하여 직접 전기 에너지를 얻는 장치이다. 그림 Ⅰ-44는 연료 전지의 구조와 원리를 보인 것이다.

연료 중 수소와 공기 중 산소가 전기 화학 반응에 의해 직접 발전하는데 그 작용을 살펴보면,

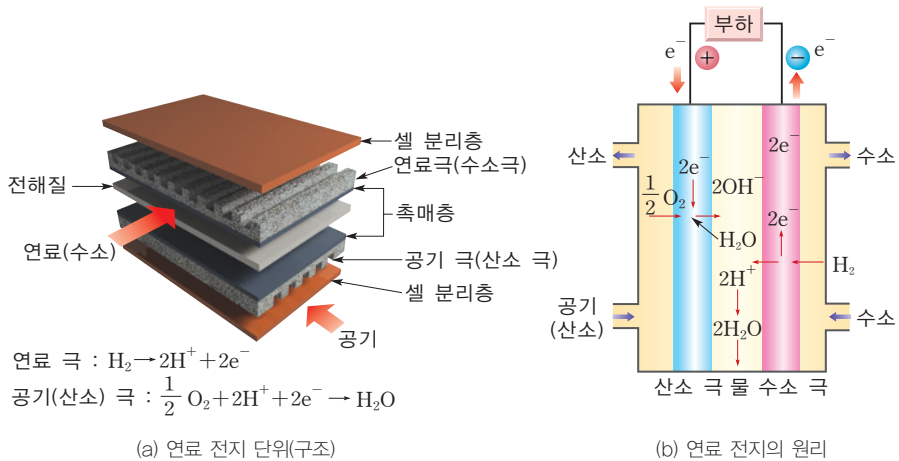



그림 Ⅰ-44 연료 전지의 구조와 원리

① 연료극(양극)에 공급된 수소는 수소 이온과 전자로 분리된다.

② 수소 이온은 전해질층을 통해 공기극(음극)으로 이동하고 전자는 외부 회로를 통해 공기극으로 이동한다.

③ 공기극 쪽에서 산소 이온과 수소 이온이 만나 반응생성물(물)을 생성한다.

즉, 최종적인 반응은 수소와 산소가 결합하여 전기, 물, 열이 생성된다.

연료 전지는 그림 Ⅰ-45와 같이 생성물이 연속적으로 전지 외부에서 공급되는 반응물질을 내장한 건전지 등의 화학 전지와는 다르다.

(2) 연료 전지의 종류

연료 전지는 개발 단계와 전해질의 종류에 따라 표 Ⅰ-9와 같이 분류할 수 있다.

(a) 구조

(b) 변환 과정

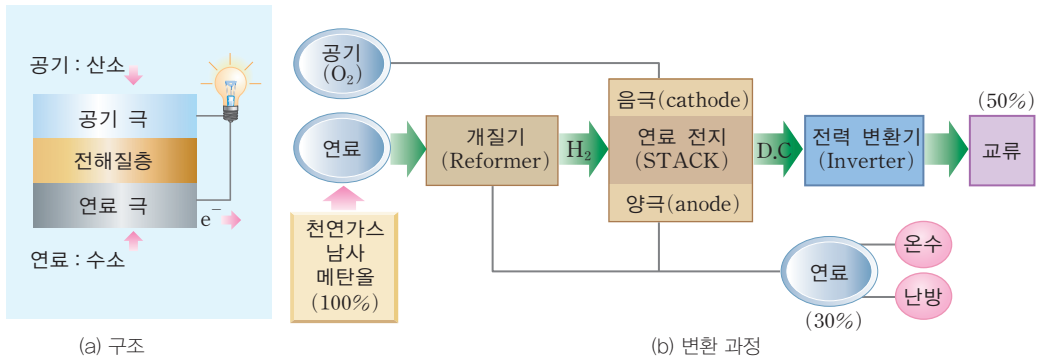



그림 Ⅰ-45 연료 전지의 구조와 변환 과정

표 Ⅰ-9 전해질 종류에 따른 연료 전지 구분

종류 / 구분	알칼리 (AFC)	인산형 (PAFC)	용융 탄산염형 (MCFC)	고체 산화물형 (SOFC)	고분자 전해질형 (PEMFC)	직접메탄올 (DMFC)
전해질	알칼리	인산염	탄산염	세라믹	이온교환막	이온교환막
동작 온도[℃]	100 이하	220 이하	650 이하	1200 이하	80 이하	80 이하
효율[%]	85	70	80	85	75	40
용 도	특수용	중형 건물 (200[kW])	중 · 대형 건물 (100[kW] ~[MW])	소 · 중 · 대용량 발전(1[kW] ~[MW])	가정 · 상업용 (1~10 [kW])	소형 이동 (1[kW] 이하)
선진 수준	우주선	200[kW]	수 [MW] 이상	수 [MW] 이상	1~10[kW] 보급 중	500[W]
국내 수준	-	50[kW]	250[kW]	1[kW]	3[kW]	50[W]

알칼리형 연료 전지(수소, 산소, 연료 전지)는 고순도의 수소와 산소를 각각 연료와 산화제로 하고 수산화칼륨 수용액을 전해질로 하는 연료 전지로서 우주선 전원 등의 특수 분야에 실용화되어 있다.

인산형 연료 전지는 전해질로 인산 수용액이 사용되며, 실용화가 가장 쉬운 것으로 제1 세대 연료 전지라 한다. 연료 전지 발전 시스템에서는 교류 전력을 출력하기 위해서 연료 개질기, 인버터 등이 필요하다.

제2 세대 용융 탄산염형 연료 전지는 천연가스를 이용하는 경우 운전 온도가 높아서 발전 효율이 약 80[%]로 화력 발전소 대체용 대용량 발전소로 기대가 크다.

제3 세대의 고체 전해질형 연료 전지는 산화물 고체 내의 산소 이온 도전성을 이용한

것으로 발전 효율이 높기 때문에 수 〔MW〕급 이하의 이상적인 전지로서 실용화가 기대된다.

2. 석탄 가스화 복합 연료 전지 발전

가스화 복합 발전 기술(IGCC: Integrated Gasification Combined Cycle)은 석탄, 중질잔사유 등의 저급 원료를 고온, 고압 아래에서 일산화탄소와 수소가 주성분인 합성가스로 만들어 분진과 황화합물 등을 없애는 정제 공정을 거친 뒤 가스 터빈이나 증기 터빈 등을 구동하여 발전하는 신기술이다.

(1) 석탄액화

고체 연료인 석탄을 휘발유나 디젤유 등의 액체연료로 전환시키는 기술로 고온, 고압의 상태에서 용매를 사용하여 전환시키는 직접 액화 방식과, 석탄 가스화 후 촉매상에서 액체연료로 전환시키는 간접 액화 기술이 있다.

특징을 살펴보면 고효율 발전이 가능하며, 황산화물(SO_x)을 95〔%〕 이상, 질소산화물(NO_x)을 90〔%〕 이상 절감하는 환경 친화 기술로서 다양한 저급 연료(석탄, 중질잔사유, 폐기물 등)를 활용한 전기 생산이 가능하다. 또한 화학플랜트를 활용하여 액화연료 생산 등 다양한 형태로 고부가가치의 에너지를 만들어 낼 수 있는 장점이 있다.

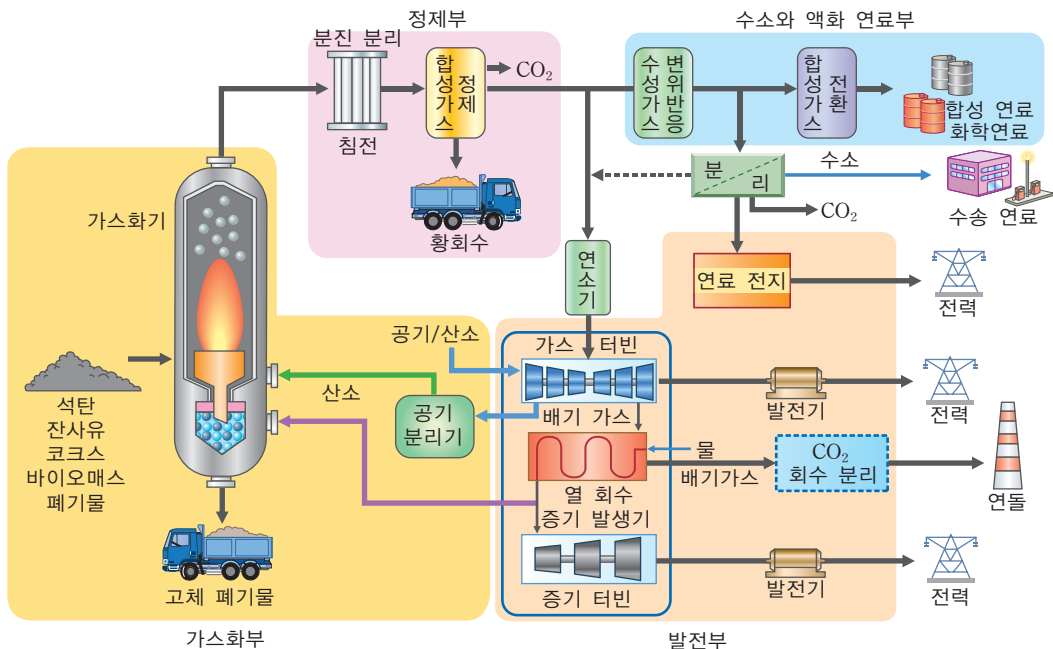



그림 Ⅰ-46 석탄액화 시스템 구성도

단점으로는 소요 면적이 넓은 대형 장치 산업으로 시스템 비용이 고가이므로 초기 투자 비용이 높다. 복합 설비로서 전체 설비의 구성과 제어가 복잡하여 연계 시스템의 최적화, 시스템 고효율화, 운영 안정화, 저비용화가 요구된다.

(2) 시스템 구성도

석탄 이용 기술은 그림 Ⅰ-46과 같이 가스화부, 가스 정제부, 발전부 등 3가지 주요 블록과 활용 에너지의 다변화를 위해 추가되는 수소 및 액화 연료부 등으로 구성되어 있다.

(3) 석탄 가스화 기술

석탄 가스화 기술은 그림 Ⅰ-47과 같이 석탄을 고온, 고압 상태의 가스화기에서 한정된 산소와 함께 불완전 연소시켜 일산화탄소(CO)와 수소(H_2)가 주성분인 합성가스를 생성하는 기술로, 전체 시스템 중 가장 중요한 부분이다. 석탄 종류와 반응 조건에 따라 생성 가스의 성분과 성질이 달라지며 건식가스화 기술과 습식가스화 기술이 있다.

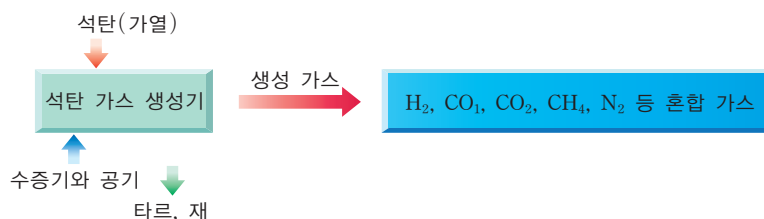



그림 Ⅰ-47 석탄 가스의 변화

(4) 가스 정제

가스 정제 기술은 그림 Ⅰ-48과 같이 생성된 합성가스를 고효율 청정 발전과 청정 에너지에 사용할 수 있도록 오염 가스와 분진(H_2S, HCl, NH_3 등)을 제거하는 기술이다. 정제된 가스를 사용해 1차로 가스 터빈을 돌려 발전하고, 배기가스열을 이용하여 보일러로 증기를 발생시켜 증기 터빈을 돌려 발전하는 방식이다.

(5) 수소와 액화 연료

연료 전지의 원료로 사용할 수 있도록 합성가스로부터 수소를 분리하는 기술과 생성된 합성가스의 촉매 반응을 통해 액체연료인 합성석유를 생산하는 기술로서 수소와 액화 연료를 생산할 수 있다.

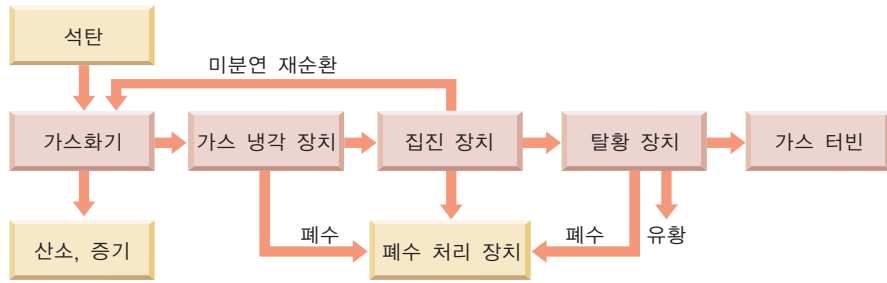



그림 Ⅰ-48 가스 정제 기술의 증기 터빈 발전

3. 열병합 발전

연료를 연소시켜 터빈을 통해 전기를 생산하는 동시에 그 폐열을 유용하게 이용하는 종합적인 발전 시스템이다. 현재까지의 발전 방식은 전기만을 생산하는 것으로 전기 에너지를 발전할 때 생기는 폐열과 송·배전에서 발생되는 손실 등으로 효율은 35〔%〕 정도에 그치고 있다. 이에 비해 열병합 발전 방식은 전기를 발생시키는 동시에 폐열을 냉·난방용 열에너지로 이용함으로써 전력 수요와 열 수요를 합하여 에너지 효율을 70~80〔%〕 정도까지 향상시킬 수 있다.

4. 그 외 새로운 발전 방식

석유 대체 에너지로 메탄올을 원료로 하는 발전 시스템과 MHD 발전(magneto hydro dynamic generation) 등이 있다.

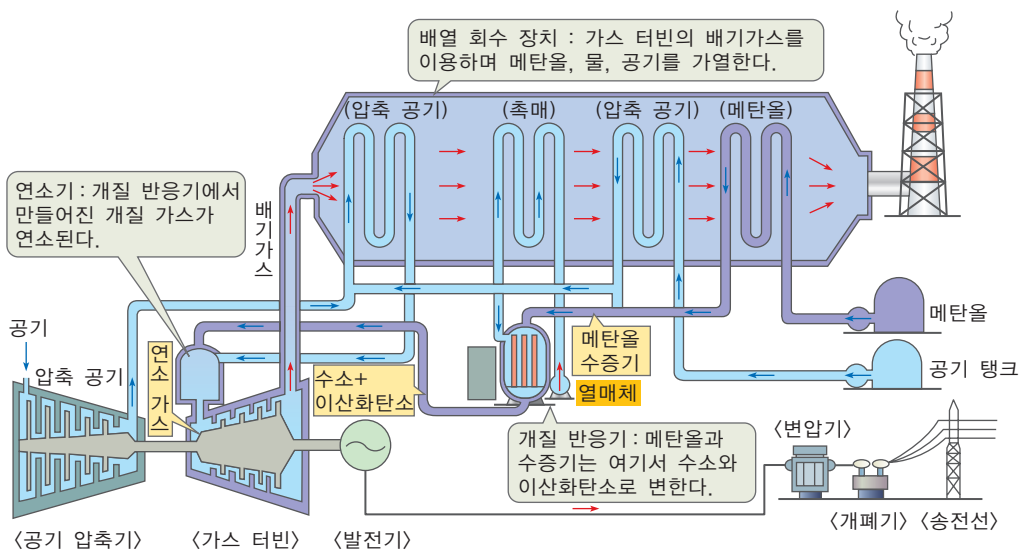



그림 Ⅰ-49 메탄올 개질형 발전의 구성

(1) 메탄올 개질형 발전

메탄올(CH_3OH)은 250~350〔℃〕의 비교적 저온에서 개질 반응이 진행된다. 메탄올 개질형 발전은 우선 메탄올과 수증기를 배기열 회수 장치를 통하여 가열한 다음 개질 반응기로 보내 수소와 이산화탄소로 바꾼다. 그리고 이 연소 가스를 연소기 내에서 연소시켜서, 이때 발생된 고온 가스로 터빈을 돌려 발전한다. 그림 Ⅰ-49는 메탄올 개질형 발전의 구성을 나타낸 것이다.

(2) MHD 발전

MHD 발전이란, 자계 중에 도전성 유체를 흘리면 이들과 직각 방향으로 기전력이 발생되는 페러데이의 전자 유도 법칙에 의한 발전 방식이다. 유체의 운동 에너지가 기계 에너지 과정을 거치지 않고 직접 전기 에너지로 변환되는 직접 에너지 변환 기술의 일환이다.

기체는 매우 높은 온도가 되면 전리하여 도전성을 가지는 플라즈마가 되는데, 이와 같이 도전성이 높은 유체를 그림 Ⅰ-50과 같은 장치의 자기장 안에서 분사하면 기전력이 생긴다.

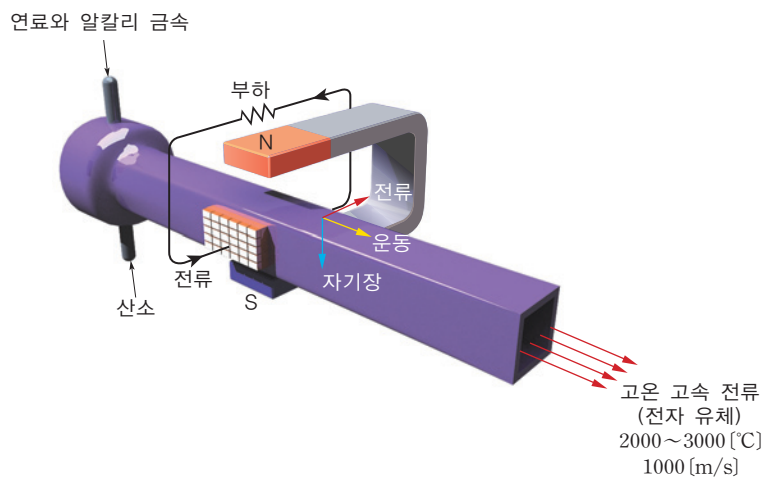



그림 Ⅰ-50 MHD 발전의 원리

고온의 가스를 발생시키는 데에는 석유나 석탄을 연료로 하는 방식과 원자로의 열을 이용하는 방식이 고안되고 있다. 따라서 MHD 발전 자체는 직접 발전이지만, 실제로 사용하는 규모로 발전하기 위해서는 화력이나 원자력 발전의 증기 사이클과 조합할 필요가 있다.

그림 Ⅰ-51과 같이 가스 고온부는 MHD 발전, 저온부는 증기 사이클 발전으로 종합 효율을 약 50～60〔%〕까지 높일 수 있다.

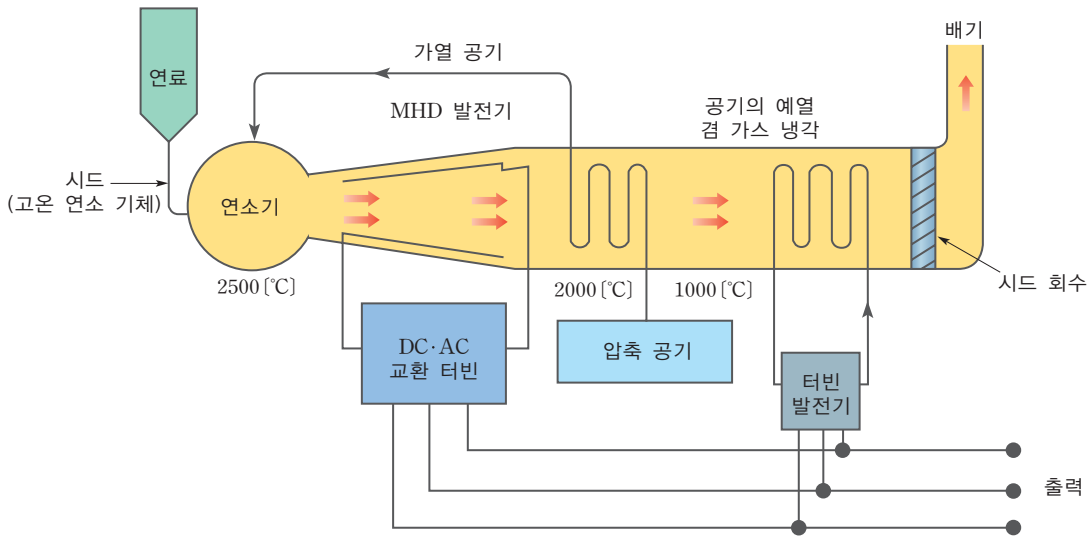



그림 Ⅰ-51 MHD 발전과 화력 발전을 조합한 개방 사이클

발전기의 출력을 크게 하려면 기체의 유전율, 유속, 자속 밀도를 크게 해야 한다. 이 형식은 발전시 기계적인 회전 부분이 없기 때문에 사용 재료의 기계적인 강도에 대한 걱정이 적다.

그러나 상용화하기 위해서는 강력한 자기장을 만들기 위해 초전도 코일과 높은 온도에서 견디는 전극 개발이 필요하다.

웹사이트에서 자료 찾기

- http://www.kepco.co.kr (한국전력공사)
- http://www.khnp.co.kr (한국수력원자력)
- http://www.kopec.co.kr (한국전력기술)
- http://www.electricity.or.kr (대한전기협회)
- http://www.keca.or.kr (한국전기공사협회)
- http://www.knrec.or.kr (에너지관리공단 신 · 재생에너지센터)

단원 학습 정리

1 자연 에너지 발전 : 태양, 지열, 풍력, 해양 등의 자연 에너지를 이용한 발전 시스템의 기술

(1) 태양 에너지 발전

① 태양광 발전 : 태양 에너지를 전기 에너지로 변환시키기 위하여 태양 전지가 사용된다. 태양 전지는 p형과 n형의 두 실리콘 반도체를 접합시킨 것으로 빛을 조사하면 p형 층은 양극으로 n형 층은 음극으로 대전한다. 이 양 단자에 부하 회로를 접속하여 전기를 발생시키는 발전 방식이다.

② 태양열 발전 : 태양 에너지를 반사경으로 집광 · 집열하여 축열 장치에 저장시킨 뒤 증기로 터빈 발전기를 돌려 전기 에너지를 발생시키는 방식이다.

(2) 지열, 풍력, 해양 발전

① 지열 발전 : 종래의 지열 발전소는 자연 지하수로부터 1000〔℃〕 전후의 마그마에 의해서 발생되는 고온, 고압의 증기를 얻어 발전하였지만, 새로운 발전 방식으로 고온 암체 발전이나 마그마 발전이 기대되고 있다.

② 풍력 발전 : 풍차에 의한 풍력 에너지를 회전 에너지로 변환하여 발전기에 의하여 전기로 변환시키는 발전 방식이다.

③ 해양 발전 : 열(온도차), 운동(조류, 파력), 화학(농도차) 등을 이용하여 발전하는 방식이다.

- 파력 발전 : 파도 에너지를 다른 역학 에너지로 변환시키기 위한 1차 변환 장치로는 유압 피스톤이나 유압 모터가 있으며, 공기 터빈이나 수류 터빈 등의 2차 변환 장치를 발전기와 연결하여 전력을 얻는 방식
- 조력 발전 : 태양과 달의 인력 작용에 의해서 일어나는 해면의 고저차를 유효하게 이용하여 발전하는 방식
- 온도차 발전 : 따뜻한 표층수와 찬 심층수의 온도차를 이용하여 전력을 얻는 방식
- 농도차 발전 : 해수와 담수의 접합면에 있는 농도차를 이용한 것으로 삼투압의 차이를 해수의 위치 에너지로 변환시켜 발전하는 방식

(3) 바이오 에너지 이용 발전

이미 존재하는 바이오 집합체 등의 1차 에너지를 바이오테크놀로지에 의해서 발전용 에너지로 변환시켜 발전에 이용하는 것이다.

바이오 집합체를 에너지원으로 생각하는 경우 유기 폐기물 등의 바이오 집합체나 태양 에너지 등에서 변환 수단을 통하여 생성 또는 배출된 수소, 메탄 등을 바이오 에너지라 한다. 이들을 이용하여 발전하는 방식을 바이오 에너지 이용 발전이라 한다.

2 신 에너지 개발

(1) 연료 전지 발전 : 연료의 산화 반응과 산소의 환원 반응을 전기 화학적으로 처리해 직접 전기 에너지를 얻는 발전이다.

(2) 석탄 가스화 복합 연료 전지 발전 : 발전 효율을 획기적으로 향상시키기 위하여 연료 전지와 증기 터빈을 조합한 새로운 복합 발전의 개발이 진행되고 있다.

(3) 메탄올 개질형 발전 : 메탄올과 수증기를 배기열 회수 장치를 통하여 가열한 다음 개질 반응기로 보내 수소와 이산화탄소로 바꾼다. 그리고 이 연소 가스를 연소기 내에서 연소시켜 이때 발생된 고온 가스로 터빈을 돌려 발전한다.

(4) MHD 발전 : 자계 중에 도전성 유체를 흘리면 이들과 직각 방향으로 기전력이 발생되는 페러데이의 전자 유도 법칙에 의한 발전 방식이다. 그러나 MHD 발전 자체는 직접 발전이지만, 실제로 사용하는 규모로 발전하기 위해서는 화력이나 원자력 발전의 증기 사이클과 조합할 필요가 있다.

단원 종합 문제

1 다음 에너지 중에서 재생 에너지 분야에 속하지 않는 것은?

① 태양광 ② 연료 전지 ③ 태양열 ④ 풍력 ⑤ 지열

2 햇빛을 직접 받아 광전효과에 의해 발전하는 에너지 형태는?

① 태양열 ② 바이오 ③ 태양광 ④ 해양 ⑤ 폐기물

3 지하수나 지하의 열을 이용하여 냉난방과 발전에 이용하는 에너지는?

① 지열 ② 파력 ③ 태양열 ④ 풍력 ⑤ 연료 전지

4 해양 에너지를 이용한 것이 아닌 것은?

① 조력 ② 파력 ③ 조류 ④ 바이오매스 ⑤ 온도차

5 신 에너지에서 수소와 산소의 화학 반응에 의해 직접 전기 에너지를 얻는 것은?

① 태양광 ② 태양열 ③ 풍력 ④ 지열 ⑤ 연료 전지

6 바이오 에너지를 이용한 발전에 대하여 설명해 보자.

7 연료 전지의 원리와 종류에 대하여 설명해 보자.

8 석탄 가스화 복합 연료 전지 발전은 어떻게 조합하여 발전되는지 설명해 보자.

9 메탄올 개질형 발전의 원리에 대하여 설명해 보자.

10 MHD 발전에 대한 원리에 대하여 설명해 보자.

정답 | 1 ② 2 ③ 3 ① 4 ④ 5 ⑤ 6~10 생략

인용 및 참고 문헌

- 교육과학기술부(2009). 『고등학교 전력 설비 Ⅰ』. (주)두산동아.
- 교육부(1999). 『고등학교 전력』. (주)대한교과서.